



Zwart gat of zwarte spiegel

Val je in een gat of kom je jezelf tegen?

Tekst bij slide

Als iets of iemand naar een zwart gat valt dan is dat voor een waarnemer ver weg van het zwarte gaten en voor degene die het ondergaat en waarneemt heel verschillend.

Als iets in een zwart gat dan verdwijnt alle informatie over wat het was wat erin valt, overblijft alleen hoeveel massa het had, hoeveel lading het had, en of het draai-impuls meebracht.,

In het centrum van het zwarte gat is een singulariteit waar natuurwetten ophouden te gelden.

Met dit en nog andere zaken zijn niet alle natuurkundige gelukkig en velen, en niet de minste wetenschappers,, Zoals Einstein, Hawking, Susskind en 't Hooft hebben zich er al het hoofd over gebroken.

Recentelijk is een alternatief idee gepresenteerd waarbij de singulariteit verdwijnt en waarbij invallende materie en invallend licht zijn antideeltje op de waarneemhorizon tegenkomt en daarmee annihileert. Alle energie blijft in de waarneemhorizon aanwezig. Het heet dan geen zwart gat meer te zijn maar een zwarte spiegel.

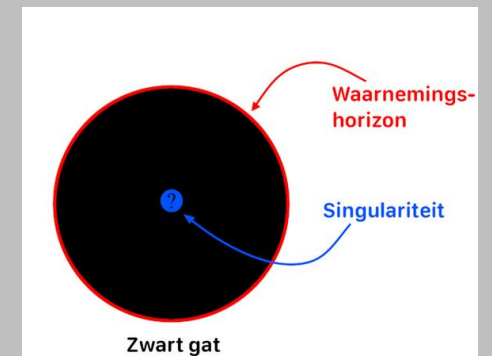
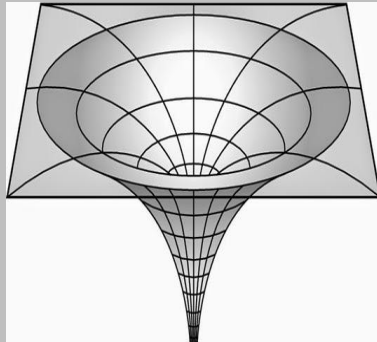
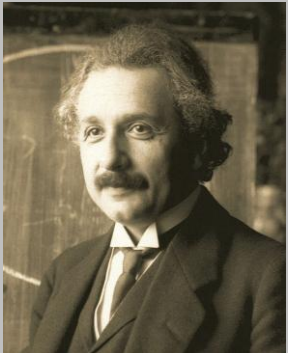
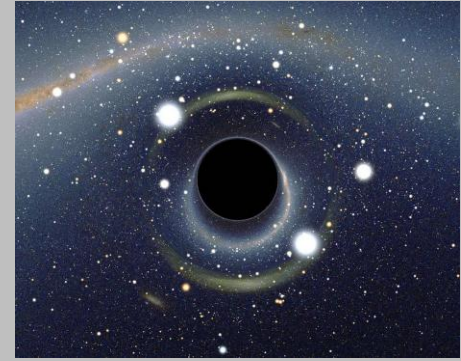
Het idee is in 2025 gepubliceerd op archivserver door: Neil Turok , Latham Boyle en Kostas Tsanavaris van de universiteit van Edinburgh.

Onze Gerard 't Hooft is er een pleitbezorger van, en het sluit aan op ideeën die hij voor het eerst beschreef in 2016.

Dit is een poging om het idee uit te leggen.

Waar denk je aan bij een zwart gat

- Einstein, algemene relativiteitstheorie
- Karl Schwarzschild, zwart gat
- Een kosmische slokop
- Er kan alleen iets in maar er komt niets uit
- Waarneemhorizon waarbinnen we niets kunnen waarnemen



Tekst bij slide

Veel mensen zullen bij een zwart gat denken aan de film Star Trek. een bolletje rode vloeistof wordt geïmplodeerd tot een microscopisch zwart gat dat vervolgens alles in zijn omgeving opslokt en daarbij hele planeten laat verdwijnen.

Veel mensen zullen ook denken aan Einstein die met de algemene relativiteitstheorie de ruimte liet krommen De naam Schwarzschild ligt al wat verder weg, maar dat was wel degene die uiterekende wat de ruimte zou doen als er een zwart een sterk geconcentreerde massa zou zijn

Misschien zijn er nog wel andere dingen waar je bij een zwart gat aan denkt.



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

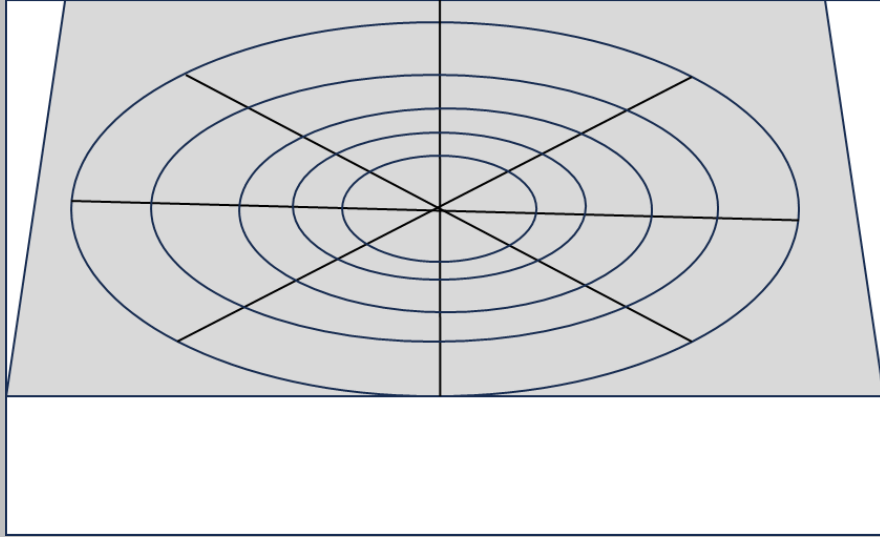
ALBERT EINSTEIN (1879-1955) 

Tekst bij slide

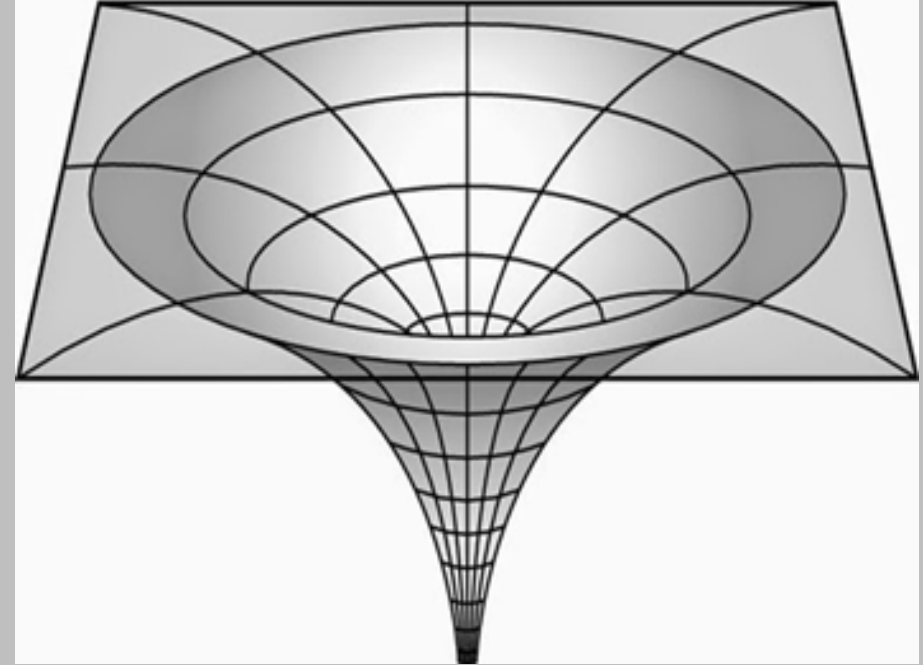
Zwarte gaten zijn een oplossing van de veldvergelijking van Einstein die de basis van de algemene relativiteitstheorie vormt.

Deze vergelijking geeft aan dat dat massa en energie de ruimte krommen en hoe dat precies gebeurt. De kromming, links van het $=$ teken, is een gevolg van aanwezige massa en energie waarvan de formule rechts staat. We zien de vergelijking hier in een van de muurformules in Leiden. De figuur laat de kromming van de ruimte zien, als kromming van paden die het licht volgt.

Kromming ruimtetijd bij zwart gat



Ruimte zonder massa



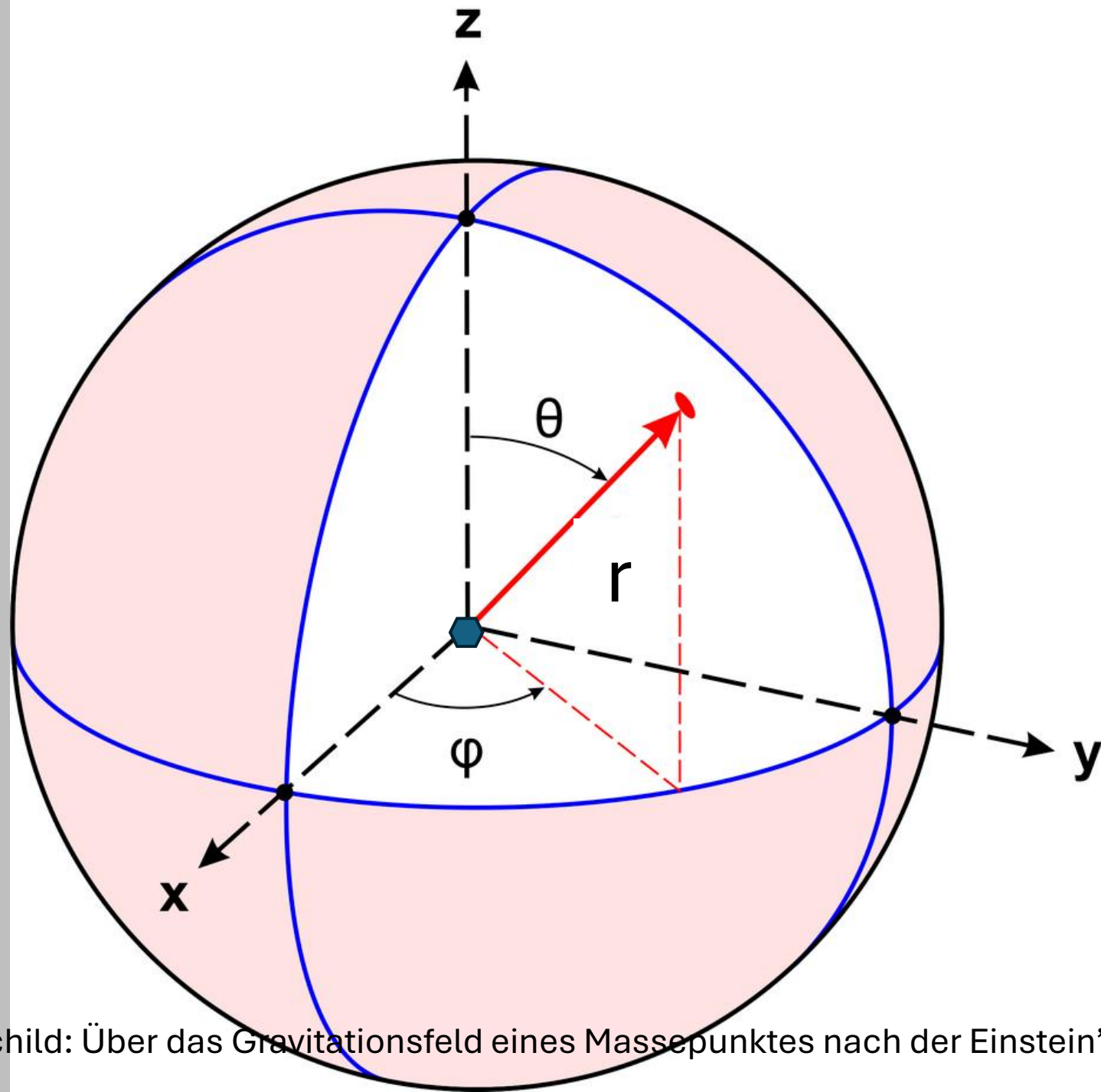
Ruimte met compact object
met massa

Tekst bij slide

De ruimte kromming wordt vaak op deze manier afgebeeld. Wat we zien is een plat vlak, waarin een centrale massa aanwezig is. Dit wordt weergegeven als een afbeelding van een drie-dimensionale put. Maar het is nog steeds een plat vlak. Afstanden worden hier langs het gekromde oppervlak gemeten. De afstand is groter dan het verschil van de straal tussen twee opvolgende cirkels. Hoe steiler de wand hoe groter de afstand wordt. Zo'n plaatje heet een embedding diagram.

Ruimte wordt gekromd wordt door aanwezigheid van massa. Wat gekromd wordt is de ruimtetijd, en dat geldt voor zowel de ruimte als voor de tijd. Hier zien we het effect op de ruimte.

Karl Schwarzschild beschreef de ruimte-tijd in de omgeving van een puntmassa. (Über das Gravitationsfeld eines Massepunktes nach der Einstein'schen Theorie)



(Karl Schwarzschild: Über das Gravitationsfeld eines Massepunktes nach der Einstein'schen Theorie)

Tekst bij slide

Schwarzschild berekende de kromming van de ruimte in een gebied rond een puntmassa, waarin verder niets aanwezig is dan vacuüm.

De situatie is rondom symmetrisch, het maakt niet in welke richting wordt waargenomen ook in de tijd verandert er niets.

Schwarzschild drukt zijn oplossing daarom uit in bolcoördinaten met als variabelen tijd t , afstand r en twee hoeken θ en ϕ .

Omdat alles rotatie symmetrisch is maakt het niet uit in welke richting wordt waargenomen. De kromming hangt niet af van θ en ϕ .

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} -\left(1 - \frac{r_s}{r}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\left(1 - \frac{r_s}{r}\right)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r^2 \sin^2 \theta \end{pmatrix}$$

Dit geeft de ruimte--tijd afstand tussen dichtbij elkaar staande punten $p(t, r, \phi, \theta)$ en $q(t+dt, r+dr, \phi+d\phi, \theta+d\theta)$ als:

$$ds^2 = -c^2 d\tau^2 = -\left(1 - \frac{r_s}{r}\right) c^2 dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{r_s}{r}} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$$

Tekst bij slide

Schwarzschild berekende de oplossing voor een stationair zwart gat in een ruimte die voor de rest vacuüm is.

De tijd ruimte kromming voor deze situatie kan op deze manier weergegeven worden.. Hiermee is de kromming van de ruimte tijd in elk punt te berekenen.

Dat zien we hier in de formule, waarin het kwadraat van de afstand ds van twee ruimte-tijd punten wordt gegeven.

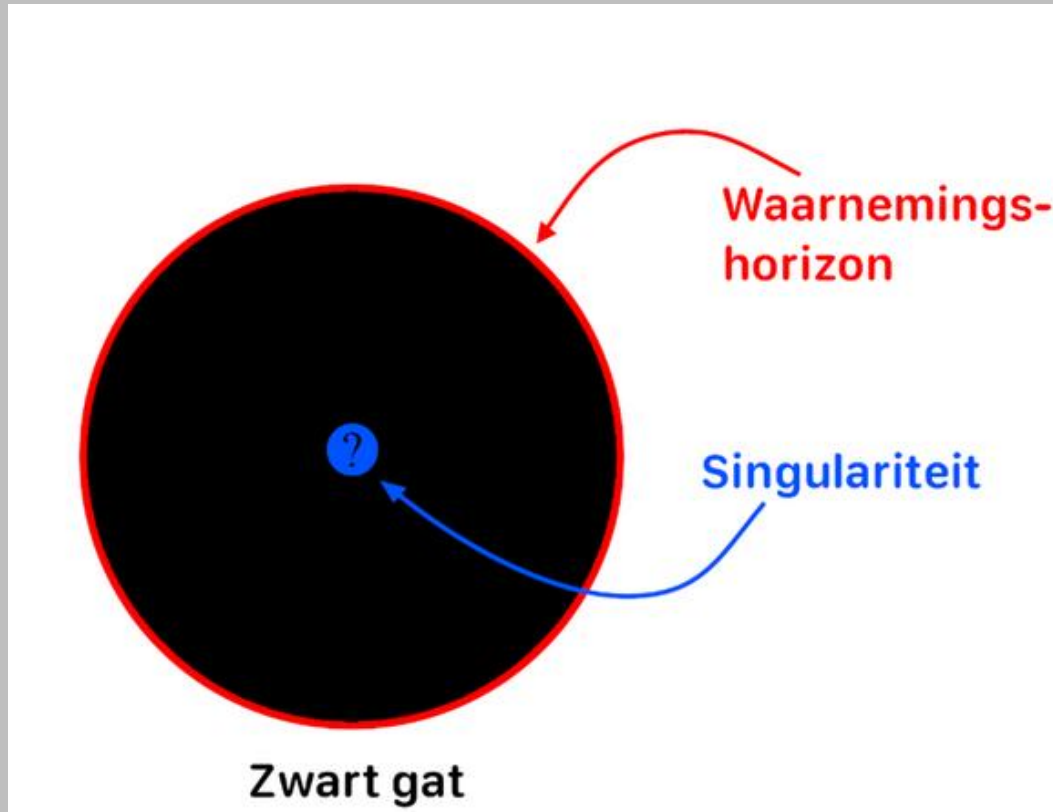
De oplossing levert een bijzondere waarde voor de afstand r en wel r_s , de Schwarzschildstraal. r_s is een functie van de massa. Is de massa nul dan is r_s nul en hebben we de ruimte-tijd van de speciale relativiteitstheorie.

De ruimtekromming heeft dus consequenties voor hoe afstanden, ds , in de ruimtetijd worden berekend.

Het maakt daarbij niet uit in welke richt wordt waargenomen. Voor θ en ϕ is er niets bijzonders aan de hand; die zal ik in het vervolg weglaten.

Voor r_s ongelijk aan nul is er een invloed op de tijd t en op de afstand r . Voor waarden van r ongeveer gelijk aan r_s worden de effecten extreem, zowel voor de ruimtelijke als voor de tijdcoördinaat. Om een kleine verandering van ds te bereiken moet de tijd t enorm veel toenemen. Omgekeerd heeft daar een kleine verandering van de afstand grote consequenties voor ds ..

Waarneemhorizon bij zwart gat



$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

r_s Schwarzschildstraal
 G = gravitatieconstante
 M massa van het zwarte gat
 C de lichtsnelheid
Aarde $r_s = 9$ mm
Zon $r_s = 3$ km

Tekst bij slide

De samenvatting van de berekening van Schwarzschild zien we hier.

In de buurt van een zwart gat kunnen we de ruimte opdelen in twee gebieden; Binnen de Schwarzschildstraal (in het zwarte gat) en buiten de Schwarzschildstraal.

De Schwarzschildstraal r_s is evenredig met de ingesloten massa. Voor de zon is dat ongeveer 3 kilometer voor de aarde zou dat 9 mm zijn.

De Schwarzschildstraal is een waarneemhorizon; Van binnen kan er niets naar buiten ontsnappen, zelfs geen licht.

We kunnen van buiten niet waarnemen wat er binnen gebeurt..

Op de Schwarzschildstraal staat de tijd stil.

Buiten de Schwarzschildstraal maakt het geen verschil of de massa geconcentreerd is in een singulariteit of dat zij verdeeld is in groter gebied

In het vervolg zal ik het woord waarneemhorizon of kortweg horizon gebruiken.

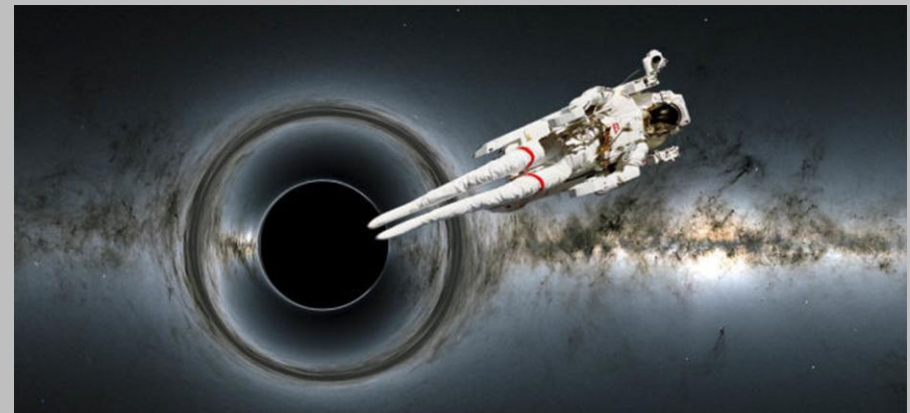
Let wel: Het zou voor de beweging van de aarde geen verschil maken als de zon ineens een zwart gat zou zijn. De aarde blijft in een jaar rondjes draaien om een onzichtbare massa. Het wordt donker en koud.

Een misverstand: de waarneemhorizon niet is de plaats waar je in stukken gescheurd wordt. Dat kan allang gebeurd zijn op een grotere afstand of het gaat pas gebeuren dichtbij het zwarte gat. Wij zien dat aan twee voorbeelden.

Getijdekracht op hoofd (en voeten) van ruimtevaarder bij zwart gat 1 zonsmassa en M87 (6,5⁹ zonsmassa's

Massa zon	$M = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	Massa ZG M87 (6 GMzon)	$M = 1,3 \cdot 10^{40} \text{ kg}$
Schwarzschildstraal ($2GM/c^2$)	$R_s = 3000 \text{ m}$	Schwarzschildstraal ($2GM/c^2$)	$R_s = 1,9510^{13} \text{ m}$
Zonnestraal ($7 \cdot 10^8 \text{ m}$)	$F = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ N}$	1 R_s	$F = 1,75 \text{ N}$
Aardstraal (6370 km)	$F = 4,4 \text{ N}$	0,5 R_s	$F = 14 \text{ N}$
Halve aardstraal	$F = 35 \text{ N}$	0,25 R_s	$F = 120 \text{ N}$
1000 km	$F = 1130 \text{ N}$	0,1 R_s	$F = 1200 \text{ N}$

Getijdekracht	$F = 2 G M m \delta r / R^3$
Gravitatie constante	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
Massa hoofd	$m = 6 \text{ kg}$
Afstand hoofd	$\delta r = 0,7 \text{ m}$



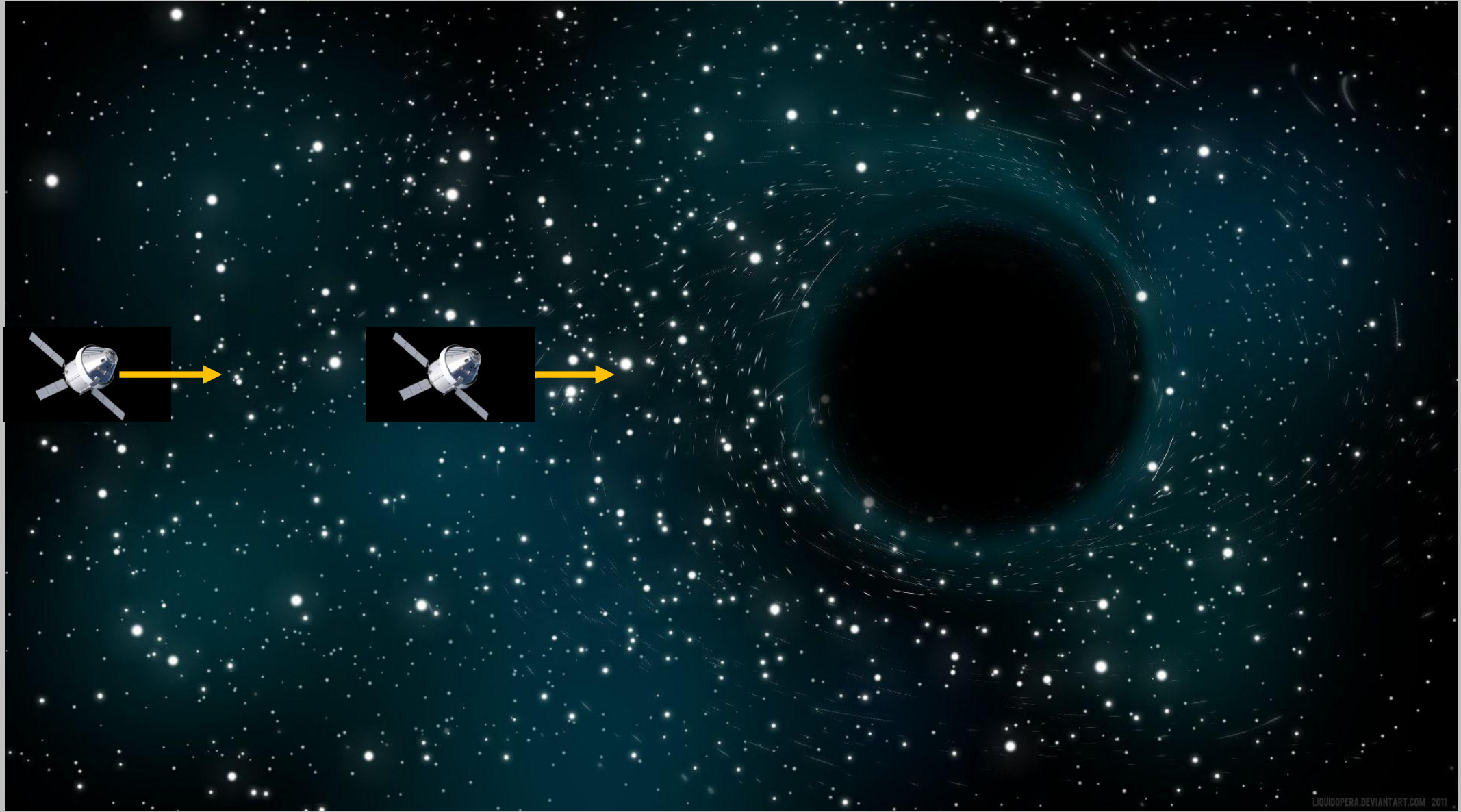
Tekst bij slide

Een ruimtevaarder waagt zich bij een zwart gat.

Bij een zwart gat met de massa van de zon moet je om niet onmiddellijk uit elkaar getrokken te worden op meer dan 300 maal de Schwarzschildstraal blijven. Daar binnen wordt je uit elkaar getrokken. Bij de aankomst op de horizon is er niet veel meer van je over.

Bij een heel groot zwart gat merk je op de horizon nog weinig, nog minder dan het gewicht van een pakje boter. Pas bij een tiende van de straal van de horizon zijn de krachten zo groot dat je de rest niet meer bewust meemaakt.

Een ruimtereiziger kan dus zonder problemen de waarneemhorizon passeren als de massa van het zwarte gat maar groot genoeg is. Maar als de massa niet veel groter dan dat van de zon is zal je de waarneemhorizon niet kunnen benaderen.



Tekst bij slide

Om het verschil tussen een zwart gat en een zwarte spiegel te begrijpen bekijken we het lot van een object, een ruimteschip, dat recht naar een zwart gat toevalt.

Een ruimteschip valt vanaf grote afstand richting zwart gat. Wij, die de raket nakijken van grote afstand en de ruimtevaarders zelf ervaren dat op verschillende manieren. Dat kunnen we goed zien in een afstand-tijd diagram.

Invallende ruimteschip in onze tijd en tijd ervaren door door de inzittenden (eigentijd)

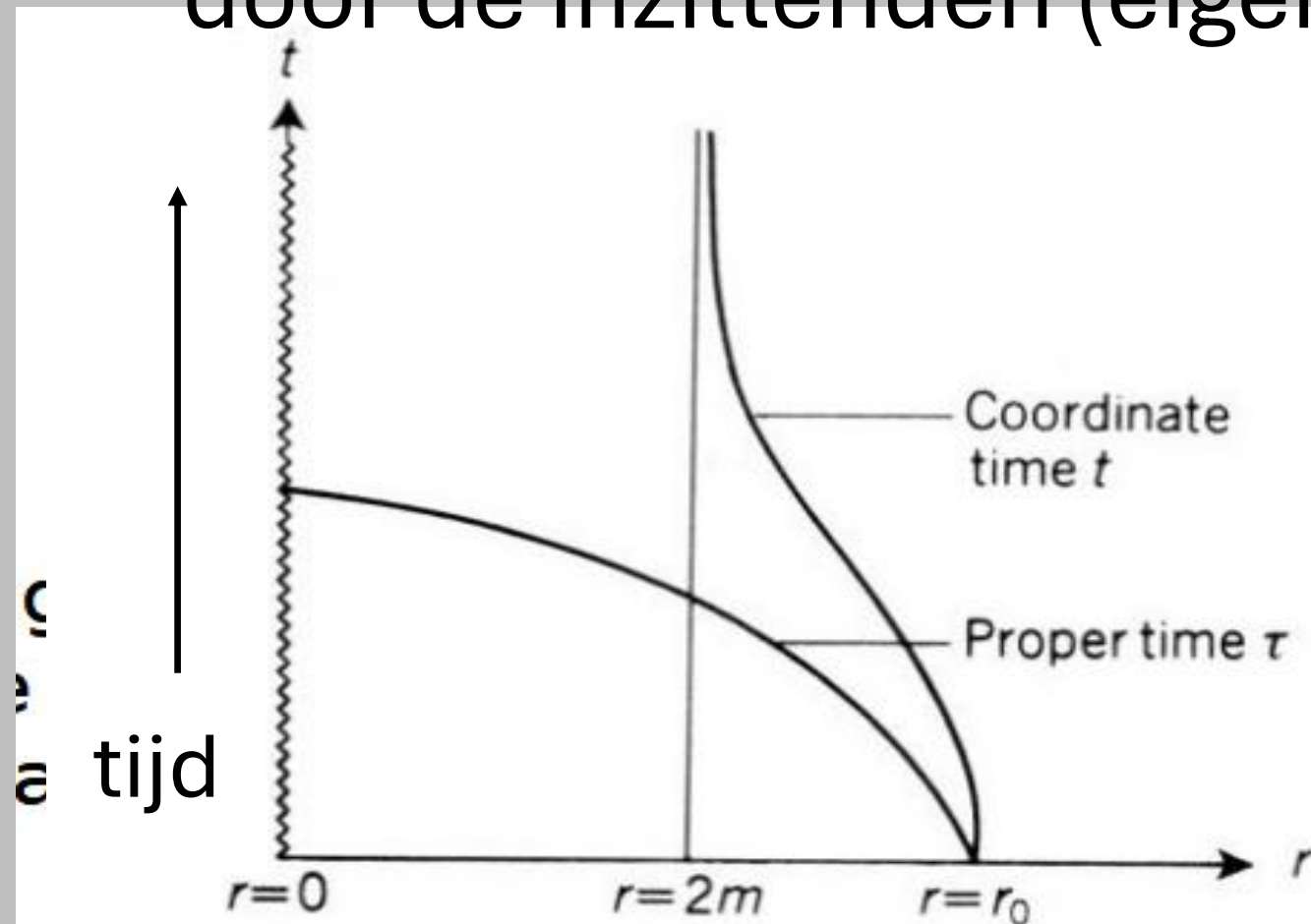


Fig. 16.8 Radially infalling particle in times τ and t .

Tekst bij slide

Alles wat ernaar toe valt komt uiteindelijk in het zwarte gat terecht en voegt daar massa aan toe waardoor het zwarte gat groter wordt.

Maar wordt heel verschillend ervaren voor ons als verre waarnemers en voor datgene wat naar het gat valt zelf.

We zien dat hier afgebeeld.

In dit plaatje staat horizontaal de afstand tot het centrum van het zwarte gat en verticaal de tijd.

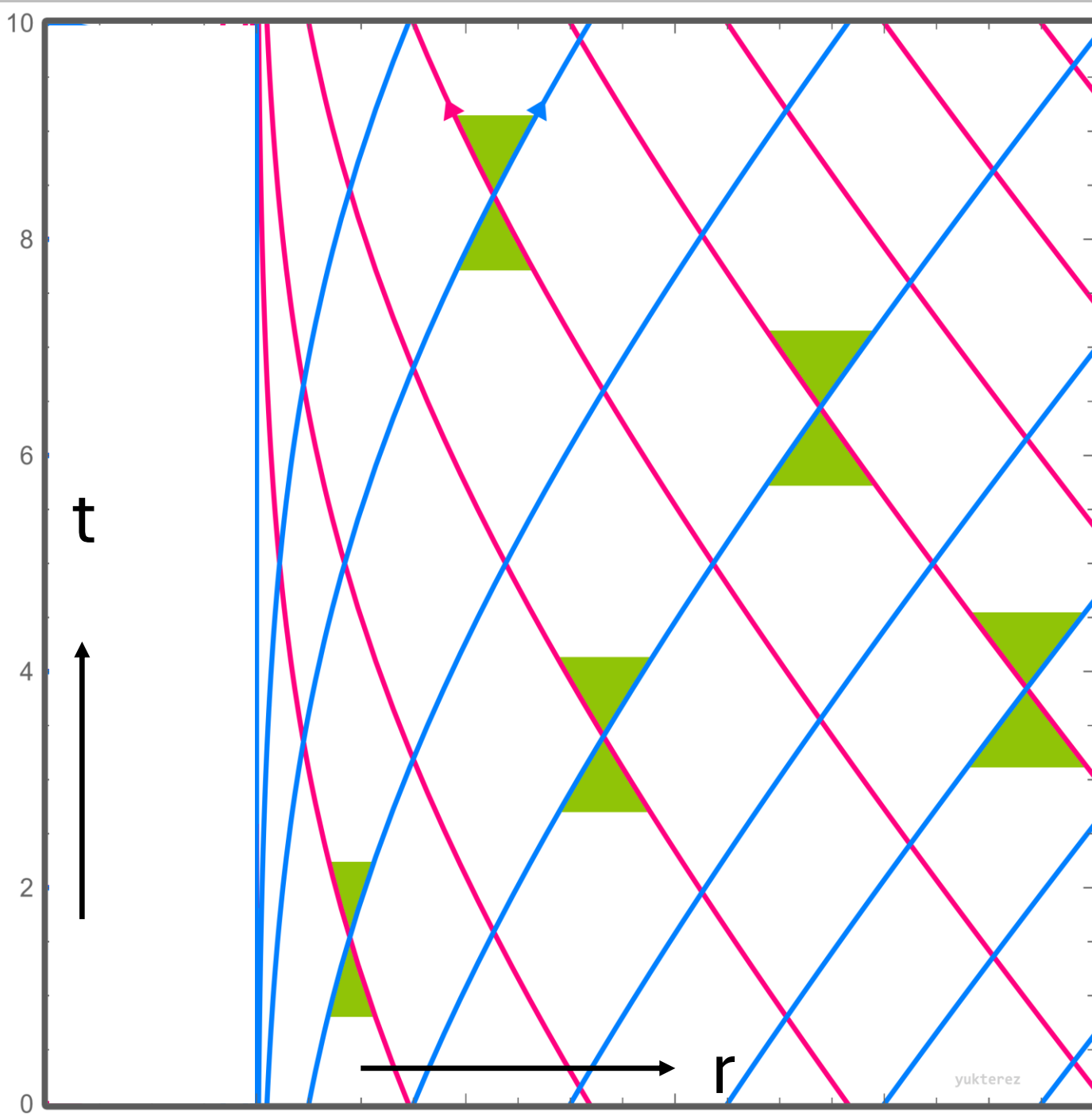
Deze tijd is hier aangeduid met coordinate time.

Er is een singulariteit bij $r = 0$ en een waarneemhorizon bij $r = 2m$. Hierin en in het volgende worden G en c gelijkgesteld aan 1. Dan wordt $r_s = 2m$. Heel vaak wordt ook $m = 1$ gesteld dan worden de formules nog wat eenvoudiger.

Voor een waarnemer (ver) buiten de waarneemhorizon gezien nadert een object, ons ruimtetuig, asymptotisch de Schwarzschildstraal en gaat daar niet overheen. Het duurt oneindig lang in tijd zoals een verre waarnemer dieervaart voor het ruimteschip de waarneem horizon bereikt.

Het bewegende objectervaart niets bijzonders bij de waarneemhorizon en verdwijnt na een voor het object korte tijd in de singulariteit in het zwarte gat bij $r = 0$. Het bewegende objectervaart dus een andere tijd, die hier aangegeven is als proper time (ofwel eigen tijd) met symbool τ .

In de zwarte spiegel hypothese gebeurt er iets anders. De reis van het object eindigt op de waarneemhorizon op $r = 2m$. Daarover gaat deze workshop.



Schwarzschild coördinaten ($r_s = 2$)

Rood: inkomende
lichtpaden

Blauw: buiten de horizon
uitgaande lichtpaden,

Groen conussen
begrenzen mogelijke
richtingen van
materiedeeltjes ($v < c$)

Tekst bij slide

Hier zien we de ruimte rond een zwart gat afgebeeld in Schwarzschild coördinaten. Verticaal weer de tijd; horizontaal de afstand. Twee ruimte coördinaten worden niet weergegeven.

De waarneemhorizon horizon ligt hier op 2 dus M is hier gelijk gesteld aan 1.

In dit plaatje zien we paden van fotonen die naar het zwarte gat vallen (rode lijnen) of er vandaan bewegen, de blauwe lijnen.

De verschillende rode lijnen geven de banen van fotonen die die op ons tijdstip nul op verschillende afstanden van het zwarte gat zijn. Idem voor blauwe lijnen

De groene conussen, of wel lichtkegels, geven de mogelijke richtingen van materiedeeltjes met een snelheid kleiner dan de lichtsnelheid. Materiedeeltjes bewegen altijd binnen de lichtkegels.

We moeten hierbij bedenken dat twee ruimtecoördinaten niet zijn weergegeven. Elk punt (r,t) staat voor een bolschil met straal r .

Strikt genomen staat elk foton dus voor een bolschil van fotonen die ofwel naar het zwarte gat toevalt of ervandaan beweegt. Maar voor een testobject of foton met een massa verwaarloosbaar van die van het zwarte gat. is beschrijving van een enkel invallend deeltje ook voldoende precies.

Dat zal ik het vervolg daarom ook doen.

Fotonen en deeltjes van buiten de waarneemhorizon of Schwarzschildstraal zullen wij deze nooit zien passeren. Binnen de waarneemhorizon zien we niets, er gaat niets in er komt ook niets uit. Is er dan ook niets?

Als we ook willen zien wat er binnen de waarneemhorizon kan gebeuren moet en het volgende plaatje bekijken.

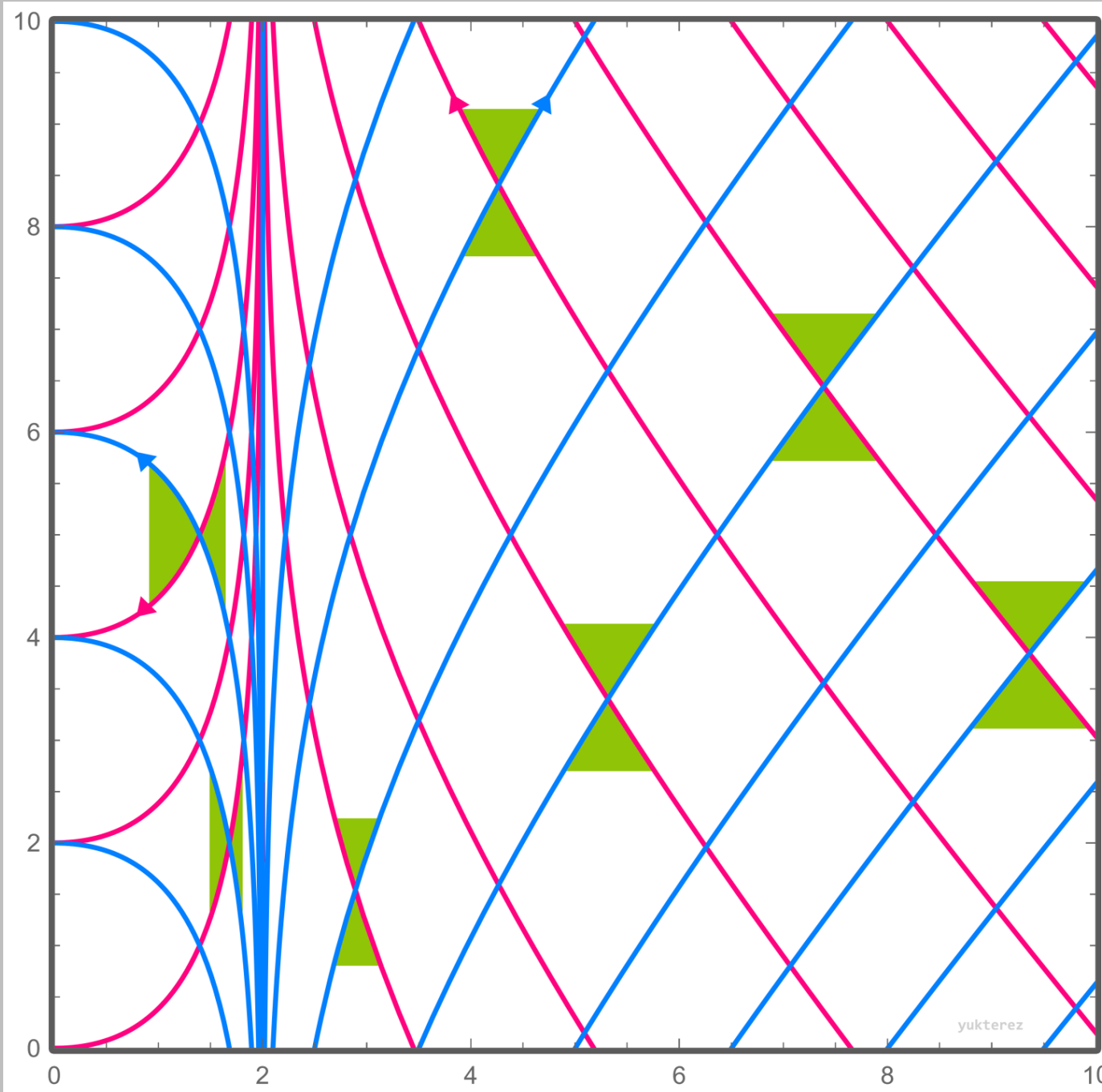
Schwarzschild coördinaten

Rood: inkomende
lichtpaden

Blauw: buiten de horizon
uitgaande lichtpaden,
binnen de horizon ook
ingaaende paden

Groen conussen begrenzen
mogelijke richtingen van
materiedeeltjes ($v < c$)

$$r_s = 2$$



Tekst bij slide

Hier zien we de Schwarzschild coördinaten nog eens waarbij nu ook het stuk binnen de waarneemhorizon is weergegeven

Buiten de horizon is er niets veranderd ten opzichte van het voorgaande plaatje.

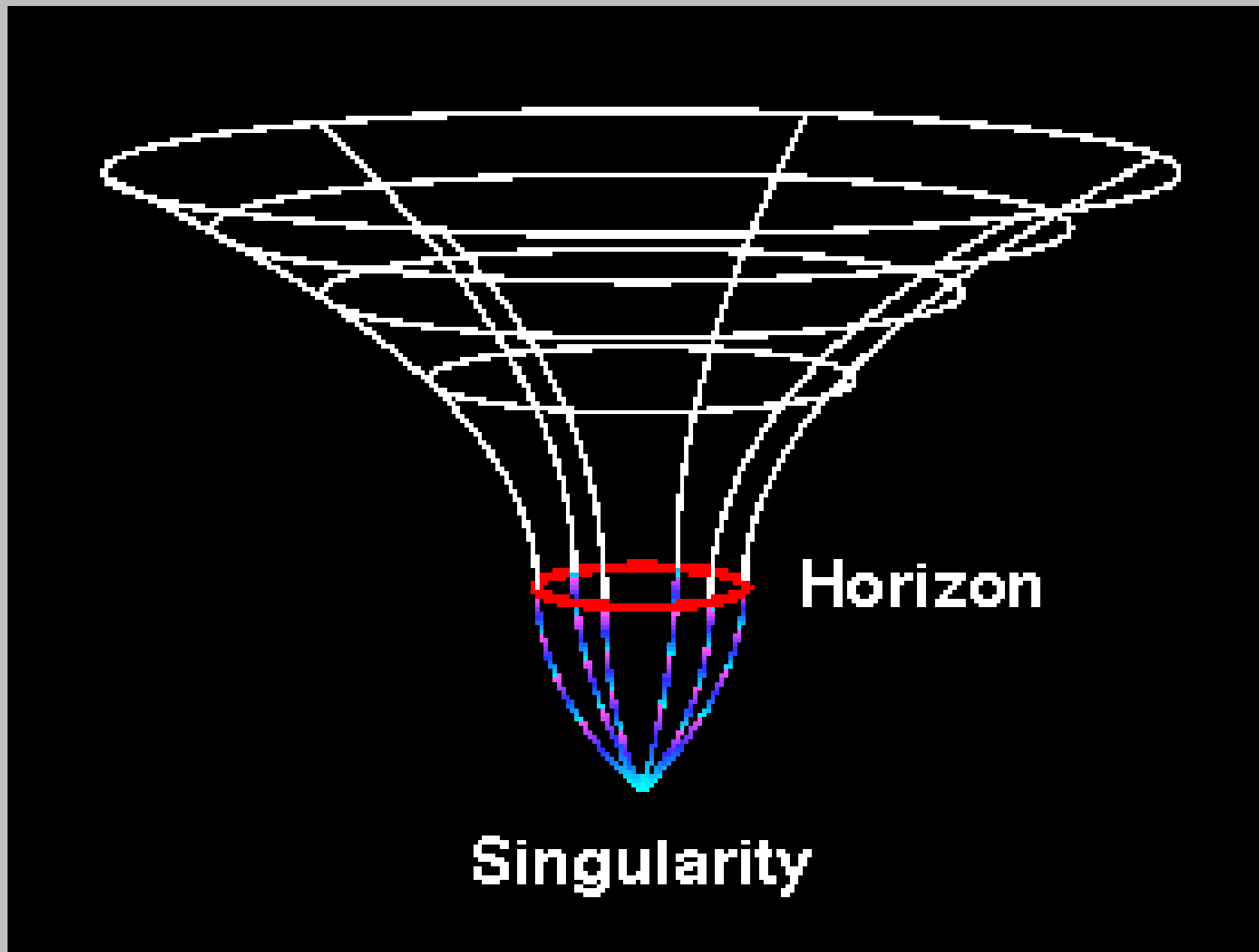
Buiten de horizon zijn er sporen die naar binnen (rood) of naar buiten (blauw) bewegen.

Binnen de horizon zijn er geen fotonen die naar buiten lopen. Zowel rode lijnen als de blauwe lijnen binnen de horizon gaan ook naar $r = \text{nul}$. Wat eenmaal de horizon binnen is kan er niet meer uit. Wat we zien dat blauwe lijnen naar boven lopen, hun tijd neemt toe. De rode daarentegen lijken van uit de verre toekomst naar het zwarte gat bewegen, hun tijd lijkt af te nemen.

Ook valt op dat de groene conussen, of wel lichtkegels, die de mogelijke richtingen van materiedeeltjes met een snelheid kleiner dan de lichtsnelheid geven zijn binnen de horizon gekanteld zijn.

Omdat materiedeeltjes altijd in de lichtkegels bewegen kunnen nu wel naar de singulariteit bij $r = 0$. Als we de coördinaten binnen de waarneem horizon op dezelfde manier zouden interpreteren als die erbuiten zou dat betekenen dat binnen de waarneemhorizon die deeltjes of fotonen met een snelheid groter dan de lichtsnelheid naar het zwarte gat toevallen. Ze zouden zelfs oneindig snel kunnen bewegen.

Maar dat is niet zo. We moeten de coördinaten binnen de horizon anders interpreteren. De posities van ruimte en tijd lijken verwisseld te zijn.



More about the Schwarzschild Geometry Andrewe Hamilton Uni Colorado

Tekst bij slide

Wat dat onder meer betekent wordt uitgelegd door prof Hamilton van de universiteit van Colorado. Het plaatje dat we hier zien is een afbeelding van een plat vlak waarin ook het zwarte gat ligt, Dat heet een embedding diagram. Embedding diagrammen, we kwamen er al eerder een tegen, zijn bedoeld om de kromming van de ruimte visueel voor te stellen.

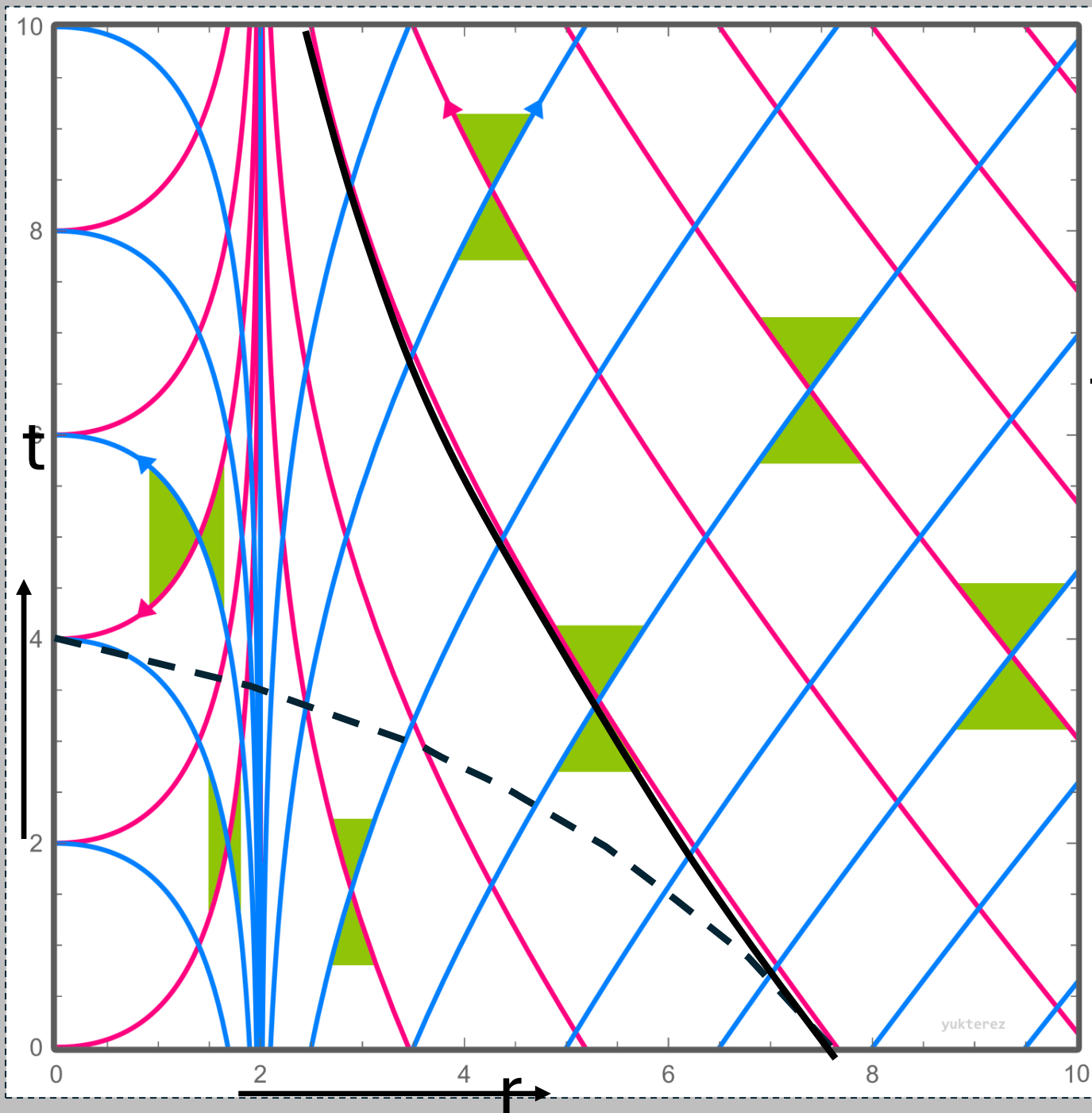
Deeltjes en fotonen kunnen alleen maar langs het gebogen vlak bewegen. De afstand tussen twee overeenkomstige punten op twee opvolgende cirkels is daarom groter dan het verschil tussen de straal. van de cirkels. Dat toont de kromming van de ruimte.

De rode ring in de figuur is de waarneemhorizon. Daarboven hebben we de bekende gekromde ruimte. Eronder is het gebied binnen de waarneemhorizon voorgesteld.

In onze ruimte kunnen we ons voorstellen dat we stil staan en dat de tijd verder loopt terwijl we daar zijn. Binnen de waarneemhorizon kan dat niet. De ruimte zelf beweegt naar het centrum toe en alles wat daarin aanwezig is wordt meegevoerd naar dat centrum.

In het gebied binnen de waarneemstraal zijn daarom geen statische ringen afgebeeld, omdat de ruimte daar zelf naar binnen beweegt. Dit is weergegeven als gekleurde patronen, schijven van ruim, die naar beneden en naar het centrum lopen. Kennelijk hebben ze dat in het tuincentrum ook al in de gaten

We kunnen ons de ruimte binnen de waarneem horizon dus niet eenvoudig voorstellen als meer van hetzelfde.



Invallend object in onze
tijd (coordinate time) en
eigen tijd

Tekst bij slide

We komen nog eens terug op de tocht van ons ruimteschip.

Mocht ons ruimteschip inmiddels bijna de lichtsnelheid hebben, en dicht bij de waarneemhorizon is dat ook zo, dan kunnen de we de zwarte lijn ook zien als pad van ons ruimteschip.

Buiten de waarneemhorizon hebben we geen probleem: we zien het ruimteschip steeds langzamer bewegen met als asymptoot de waarneemhorizon.

Gestippeld zien we nu ook het spoor van het ruimteschip in de eigentijd van de inzittenden. Op onze tijd $t = 4$ bereikt het ruimteschip het centrum bij $r = \text{nul}$.

Dat levert wat vragen op:

De enige mogelijkheid om dan nog met de lichtsnelheid bij het punt met straal 0 op tijdstip tijd 4 uit te komen zoals de inzittenden in het ruimteschip dat ervaren op $t = 4$ is door terug te reizen in de tijd nadat het schip op $t = \text{oneindig}$ de waarneem horizon heeft bereikt. Zou het dat kunnen zijn?

Of is het zo dat wat voor ons op de horizon te zijn vanuit het perspectief van de reizigers het centrum van het zwarte gat is?

Vragen waar ik geen antwoord op heb.

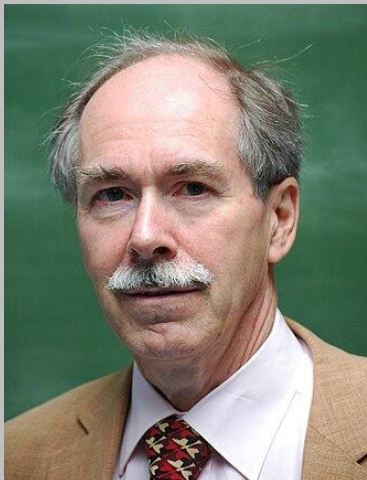
Maar misschien zien we hier problemen die er helemaal niet zijn.

De oplossing van de zwarte spiegel, waar we vandaag kennis mee maken kent deze problemen niet. De ruimte binnen de waarneemstraal bestaat eenvoudigweg niet. We hebben al wat problemen gezien maar er zijn meer redenen om niet gelukkig te zijn met deze beschrijving.

Voor we dit meer in detail gaan bekijken zullen we eerst eens gaan kijken naar het: wie, wat en waarom van de Zwarte Spiegel. Later kijken we dan naar het hoe een en ander wordt uitgelegd.

When You Fall Into a Black Hole You Meet Your Antimatter Twin

Black Mirrors: CPT-Symmetric
Alternatives to Black Holes



Turok



Boyle



Tsanavaris



Tekst bij slide

Eerste het Wie:

Hier zien we Neil Turok en de twee andere auteurs Latham Boyle en Kostas Tsanavaris.

Ze werken alle drie in het Higgs Centre for Theoretical Physics in Edinburgh.

De auteurs hebben onder meer gebruik gemaakt van ideeën van Gerard 't Hooft.

Zwarte spiegelconcept volgens (Turok cs)

- Er is geen ruimte binnen de waarneemhorizon
- Er is geen singulariteit met een oneindige kromming
- Er is een tweede ruimte die erg veel lijkt op de ruimte waarin wij leven dat is buiten de waarneemhorizon, die ruimte is de CPT-gespiegelde ruimte van die van ons
- Als er een deeltje invalt naar de horizon, komt er in de andere ruimte een antideeltje tegemoet.
- Het deeltje en het antideeltje ontmoeten elkaar op de horizon
- Deze deeltjes annihileren met elkaar; de energie blijft op de waarneemhorizon.

Tekst bij slide

Hiermee hebben de essentie van het zwarte spiegelconcept

In de beschrijving van Turok en anderen

bestaat er binnen de waarneemhorizon geen ruimte

Er is een CPT-geconjugerd spiegelbeeld van onze ruimte

Deeltjes in de ene kant zijn antideeltjes op de andere kant.

Zwarte spiegel volgens 't Hooft

Het voorgaande plus

- Er is maar één wereld, onze wereld en de CPT geconjugeerde vallen samen, zoals de twee kanten van een blad papier.
- Alle gebeurtenissen vinden plaats in deze dubbele wereld
- Als een Hawking deeltje wordt uitgezonden wordt er ook een tweede (anti)deeltje uitgezonden vanuit het antipodale punt.
- Deze twee deeltjes zijn verstrengeld.

Tekst bij slide

Er zijn hier een paar begrippen genoemd die een nadere toelichting vragen:

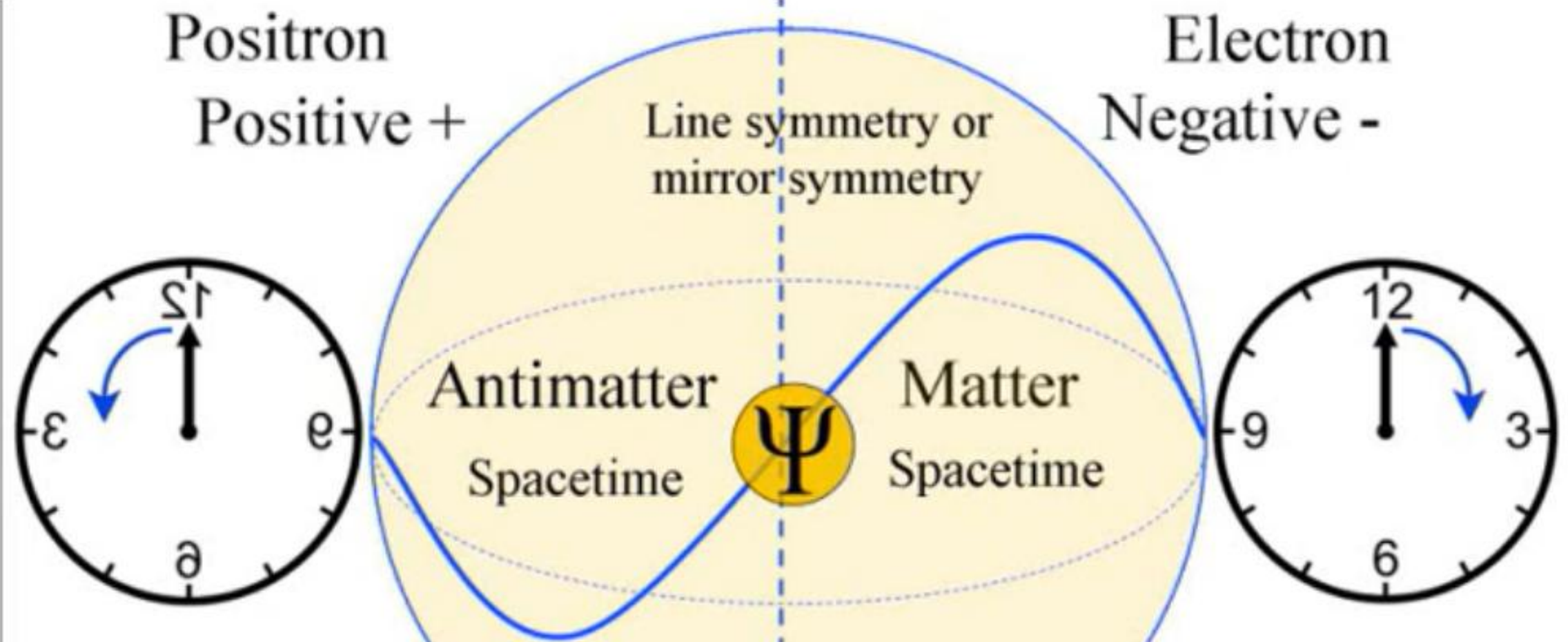
Hawkingdeeltje

CPT geconjugeerde ruimte

Antipodale identificatie

Hawking deeltjes: Stephen Hawking bedacht dat de horizon van zwarte gaten een temperatuur heeft en zoals alle dingen met een temperatuur warmtestraling uitzendt.. Nu is de temperatuur van een zwart gat erg laag en de straling voor normale zwarte gaten die we kennen extreem laag. Maar het gaat om het principe. Hawking deeltjes zijn elementaire deeltjes, daarbij denk je het eerst aan fotonen en aan neutrino's of hun antideeltjes. anti neutrino's.

Er is een CPT-geconjugeerde ruimte, waarin zich zaken afspelen die overeenkomen met wat is onze ruimte gebeurt. Wat moeten we ons daarbij voorstellen.



This speculative diagram highlights the profound symmetry between matter and antimatter, positive and negative charge. This process forms a "mirror-image" of our Universe that is called CPT symmetry. The 'C' stands for the reversal of charge and the 'P' stands for parity or mirror symmetry with the 'T' standing for time reversal.

Tekst bij slide

Het zwarte spiegel verhaal veronderstelt een CPT-geconjugeerde ruimte.

Het is een fundamentele symmetrie van de kosmos dat alle natuurwetten onder CPT- spiegeling geldig blijven.

In een CPT geconjugeerde ruimte is er:

C (Ladingconjugatie): Verandert elk deeltje in zijn antideeltje. Ladingen en andere kwantumgetallen klappen om van teken.

P (Pariteit): Spiegelt de ruimte. De coördinaten (x, y, z) worden $(-x, -y, -z)$. Dit verandert de ook chiraliteit van systemen.

T (Tijdsomkering): Draait de richting van de tijd om. De tijdscoördinaat t wordt $-t$. Bewegingen en impulsen lopen hierdoor achteruit.

We zien dat hier: een elektron wordt een positron, de assen worden omgedraaid en de klokken lopen andersom

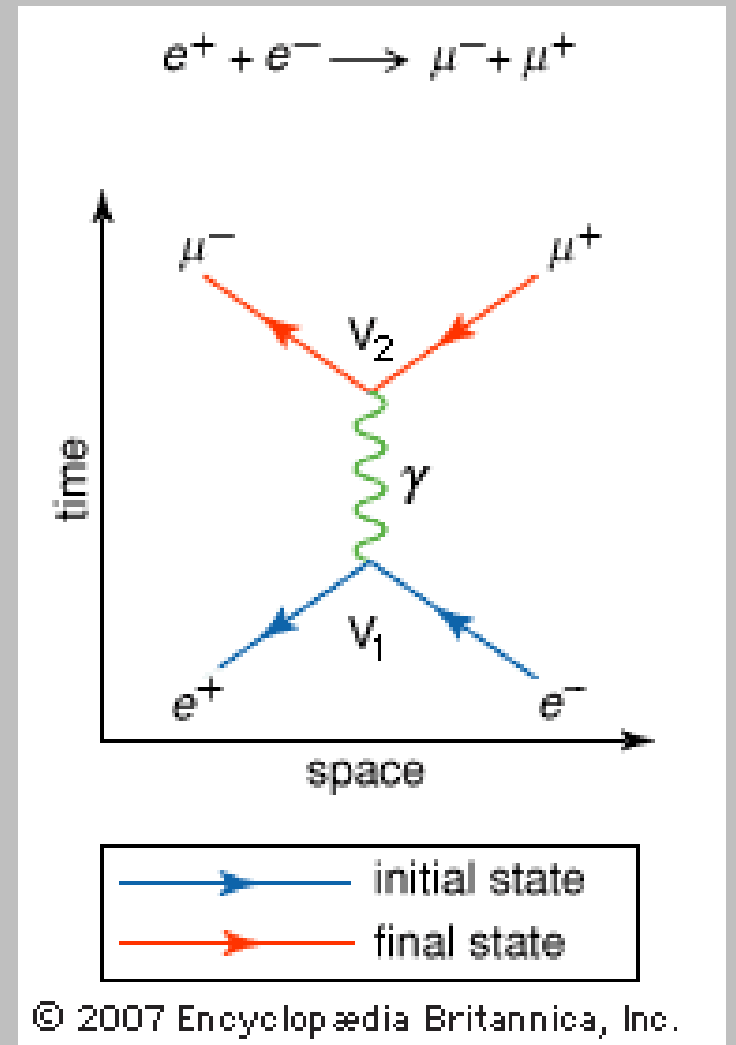
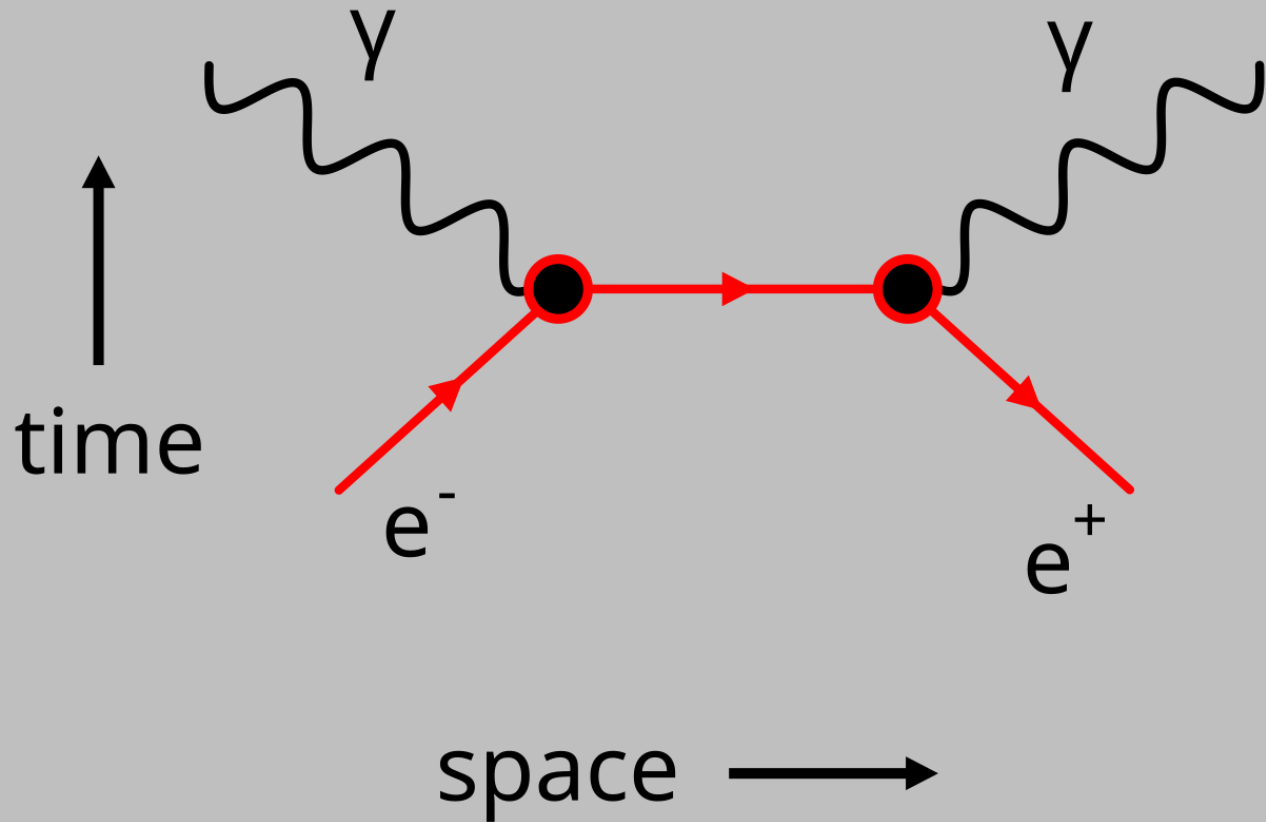
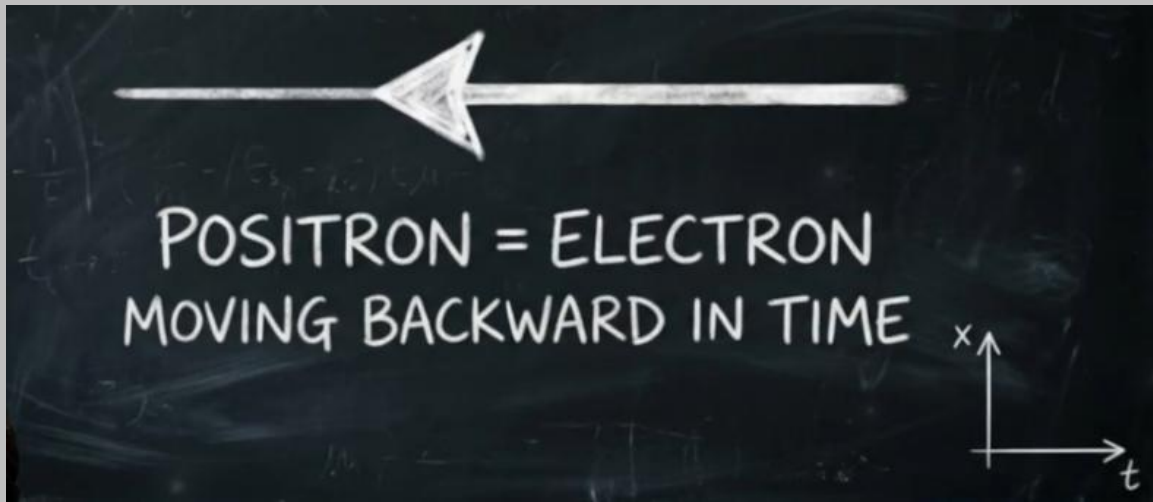
De CPT geconjugeerde ruimte voorgesteld door Turok cs. is een perfecte gespiegelde kopie van de ruimte waarin wij leven.

Anders gezegd: alle natuurwetten voldoen aan de CPT symmetrie. Wat betekent dat?

C staat voor charge of wel lading, P staat voor pariteit of ruimtespiegeling en T staat voor omkering van de tijd.

Om aan de symmetrie te voldoen moeten alle drie C,P, T veranderd worden in hun tegengestelde.

Positief geladen deeltjes worden hun negatief geladen antideeltjes, de coördinaten x, y en z worden gespiegeld in $-x, -y$, en $-z$, en, de tijd loopt andersom t wordt $-t$.



Tekst bij slide

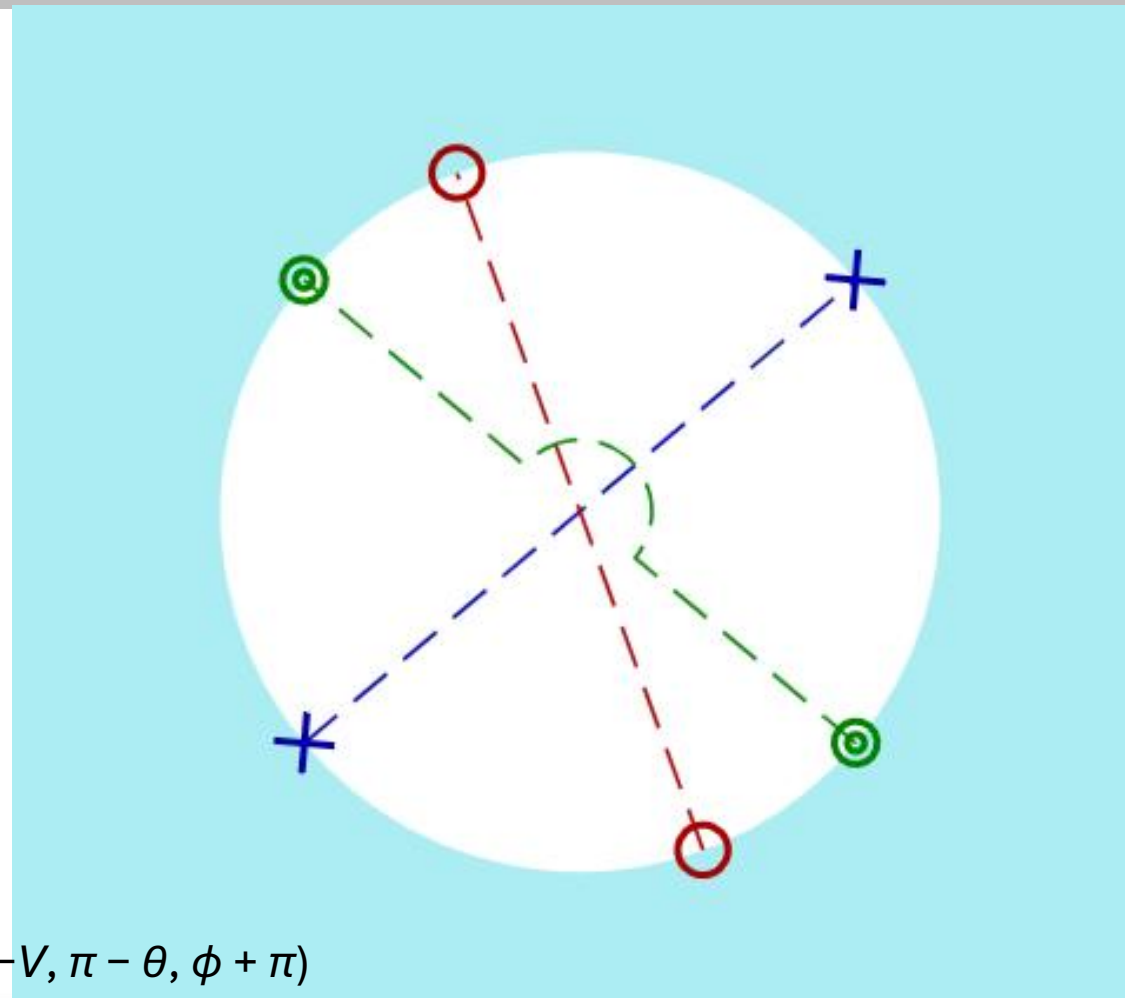
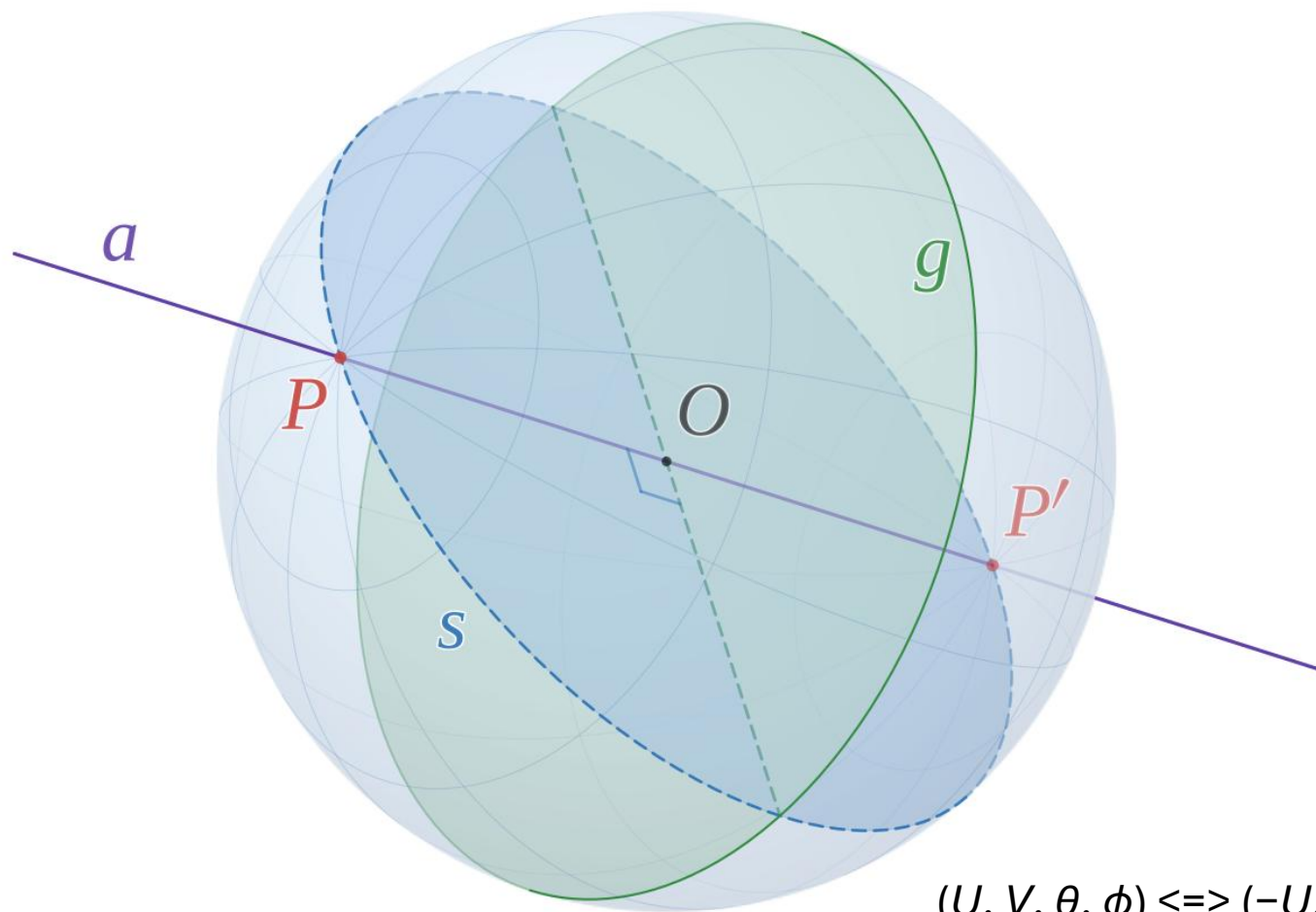
Zo'n CPT- geconjugerd universum is dat heel vreemd en bestaat dat alleen in deze context?

Neen, een paar voorbeelden

Antideeltjes kunnen worden voorgesteld als gewone deeltjes die terug in de tijd reizen. Een elektron is dan identiek aan een positron dat terugloopt in de tijd.

Hier zien een Feynman diagram dat de annihilatie van een elektron en een positron weergeeft. Die annihilatie vindt plaats als de twee deeltjes elkaar ontmoeten. De figuur links onder stelt dit voor als een Feynman diagram. Het positief geladen positron lijkt weg te lopen van de botsing. We zouden dit diagram ook kunnen lezen als een elektron dat verstrooid wordt aan een atoomkern

Het geldt niet alleen voor elektronen en positronen maar voor alle elementaire deeltjes , zoals muonen, quarks en samengepaste deeltjes zoals een proton en een neutron..Wien dat in het plaatje rechts waarin voorgesteld wordt dat een elektron en positron botsen, annihileren en via een virtueel foton, dat weer een muon en antimuon produceert.



t Hooft: Een zwart gat is niets anders dan een bolvormig stukje ruimte dat uit de ruimte-tijd is weggesneden. Tegenover elkaar liggende delen (de antipoden) worden aan elkaar gelijmd

Tekst bij slide

Een ander belangrijk begrip is Antipodale identificatie.

Antipodale indentificatie betekent dat twee punten op een bol diametraal tegenover elkaar, P en P' , gezien worden als één punt.

In de figuur: P en P' zijn in werkelijkheid één punt. en er zit niets tussen

Toegepast op de aarde; de noord- en zuidpool zijn één punt. het zelfde geldt voor ons in Leiden en onze antipoden in de Stille Oceaan.

Tussen de punten bestaat geen ruimte.

Dit idee en de toepassing op zwarte gaten is al ouder: In 1986 publiceerde 't Hooft dit idee van antipodale identificatie van punten op de waarneemhorizon om problemen met zwarte gaten op te lossen.

Dit identificatie wordt gedaan voor de Schwarzschild horizon: Elk tweetal punten op de Schwarzschildhorizon die tegenover elkaar staan lijken voor ons twee punten, maar zijn in werkelijkheid één punt zonder ruimte ertussen. En dit in drie dimensies: Er is er helemaal geen ruimte binnen de waarnemingshorizon.

Dat heeft een vergaande consequentie: In de woorden van Gerard 't Hooft: "Een zwart gat is niets anders dan een bolvormig stukje ruimte dat uit de ruimte-tijd is weggesneden. Tegenover elkaar liggende delen, de antipoden, worden aan elkaar gelijmd.

Zwarte spiegelconcept

- Er is geen ruimte binnen de waarneemhorizon
- Er is geen singulariteit met een oneindige kromming
- De ruimte heeft een CPT geconjugeerde dubbelganger, die wel of niet samenvallen.
- Als er een deeltje invalt naar de horizon, komt er in de andere ruimte een antideeltje tegemoet.
- Het deeltje en het anti-deeltje ontmoeten elkaar op de horizon
- Deze deeltjes annihileren met elkaar en de energie blijft op de waarneemstraal.
- Hawking deeltjes wordt uitgezonden als een verstrengeld paar; het ene vanuit het antipodale punt van het andere

Tekst bij slide

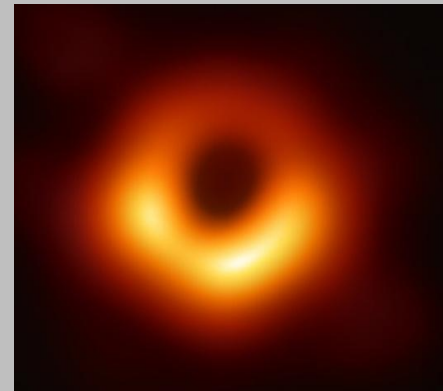
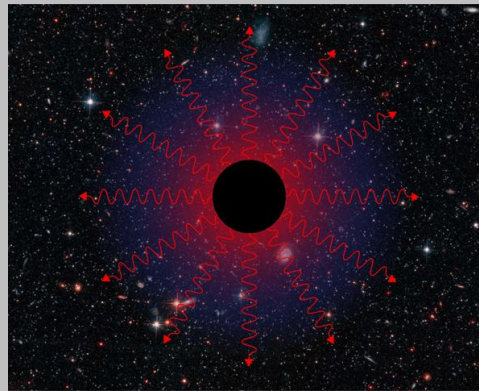
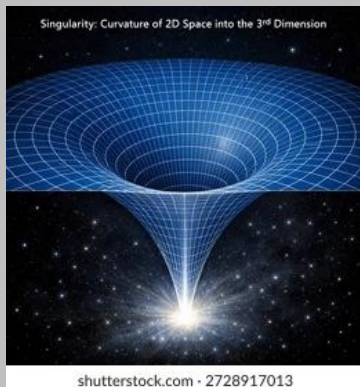
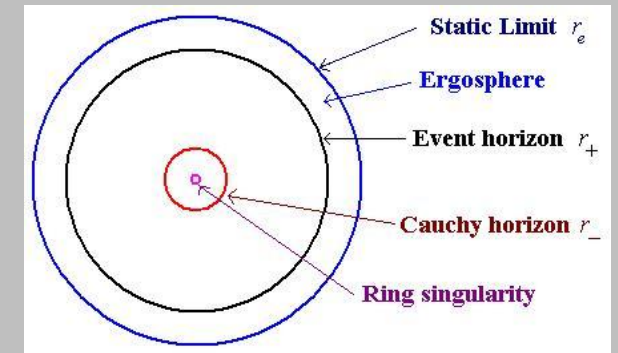
Na deze uitstap waren we misschien vergeten wat kenmerken van zwarte spiegel zijn. Hier nog eens een overzicht waarin alle genoemde aspecten zijn samengevat

Nu we weten wat het zwarte spiegel concept inhoudt is het goed om een gaan bekijken waarom dat misschien een goed idee is.

.

Waarom een zwarte spiegel in plaats van zwart gat ?

- Geen singulariteit met oneindige kromming waar de bekende natuurwetten ophouden te gelden
- CPT symmetrie
- Geen verlies van informatie (entropie)
- Geen conflict met causaliteit/determinisme
- Geen Firewall paradox



Tekst bij slide 1

We gaan deze aspecten eens bekijken

Geen singulariteit.

Er is in de natuurkunde nog geen manier om dit te beschrijven. Volgens de ART zou er een singulariteit moeten zijn. Ofschoon Karl Schwarzschild dat nooit heeft gezegd. Hij geeft alleen een beschrijving die geldig is buiten de waarneemhorizon. Misschien dat er met behulp van de quantum mechanica een overeenstemming te vinden zou zijn. Maar dat moet dan nog wel gebeuren..

Er wordt wel gesteld; Het is geen probleem: want wat er binnen de waarneemhorizon is niet waar te nemen. Daarom telt het niet. Dit noemt men wel Cosmic Censorship.

Symmetriën

In zwarte gaten gaan een aantal symmetriën verloren.

Een duidelijk voorbeeld het maakt niet uit of het gat gevuld wordt met baryonen, zoals neutronen of protonen of juist met lichte deeltjes leptonen of met een mengsel van beide. Na het verdampen van het zwarte gat is er niets. De wet van behoud van het aantal baryonen minus het aantal leptonen $B-L$ symmetrie. geldt dus niet meer. Dit is in conflict met het standaard model van elementaire deeltjes.. Ook is onduidelijk hoe een zwart gat met lading zijn lading kwijt raakt, als er een netto lading aanwezig is. Dat schendt de CPT-symmetrie.

Tekst bij slide 2

Entropie,

De tweede hoofdwet van de thermodynamica zegt dat entropie alleen maar kan toenemen. In ons dagelijks leven is dat zo, een geklutst ei levert geen kuiken meer op. Een gebroken glas dat van de tafel gevallen is kan niet omhoog vallen en weer heel worden.

Als er iets in een zwart gat valt en daarin verdwijnt moet de entropie ook toenemen. Dat gebeurt ook. De toename hangt alleen van de massa van wat erin valt. Het maakt niet uit of ik er inval of een gewicht van 70 kg. We kunnen dit niet omkeren wat erin gevallen heeft de identiteit verloren.

De entropie van een zwart gat is evenredig met het oppervlak van de waarneemhorizon en die neemt toe als er materie aan het zwarte gat wordt toegevoegd. Tot zoverre geen probleem.

Het ontstaat als het zwarte gat massa verliest door uitzending van straling, Hawking straling. Dit is thermische straling.

Daarbij moet de entropie van het zwarte gat afnemen. De straling zou dus informatie moeten meenemen. Hoe dat kan, daar zijn de wetenschappers nog niet over eens.

Tekst bij slide 3

Causaliteit.

Wij zijn eraan gewend dat een toekomstige situatie redelijk goed uit de huidige situatie kan worden voorspeld. Dat wordt determinisme genoemd. In bepaalde typen van zwarte gaten, met name bij roterende zwarte gaten, en dat zijn de meeste, geldt dit niet langer. Er is een oppervlak dat een Cauchy horizon wordt genoemd waarbinnen de toekomst niet meer voorspeld kan worden.

Een Cauchy horizon is niet te verwarren met de waarneemhorizon. De Cauchy horizon ligt binnen de waarneemhorizon. Buiten de Cauchy horizon is er nog determinisme; de nabije toekomst kan eenduidig voorspeld worden.

Binnen de Cauchy horizon is dat niet het geval. Daar kan uit een bekende situatie de toekomst niet meer voorspeld worden.

Dat levert bijvoorbeeld de volgende situatie op. Bij een heel zwaar zwart gat, zoals dat van M87 kun je als ruimtevaarder rustig de waarneemhorizon passeren. Op de waarneemhorizon bij dit grote zwarte gat zijn getijde-effecten te verwaarlozen. Als hij de Cauchy horizon passeert is zijn toekomst volledig onvoorspelbaar.

Natuurkundige zijn niet gauw geneigd het determinisme op te geven. Penrose bedacht het concept 'strong cosmic censorship' de ruimtevaarder wordt op de Cauchy horizon geroosterd door tegenkomende deeltjes en valt uiteen in elementaire deeltjes. Geen probleem meer met verschillende levenslopen in de toekomst.

Tekst bij slide 4

Firewall paradox

Een Firewall ofwel 'Muur van vuur' is een hypothetisch concept in het leven geroepen om een ander probleem van zwarte gaten op te lossen.

Het probleem is dat onder bepaalde omstandigheden dat een uitgezonden foton Hawking straling met twee andere tegelijker tijd verstrengeld zou kunnen zijn. Dat gaat tegen het idee dat verstrengeling van twee kwantum toestanden altijd monogaam is.

Het eerste verstrengelde paar ontstaat op het moment dat een foton of deeltje uitgestraald wordt. Het ene verlaat het zwarte gat het andere blijft binnen de horizon. Tijdens het verder verdampen van het zwarte gat wordt een nieuw foton uitgezonden dat ook verstrengeld is met een eerder uitgezonden deeltje.

De muur van vuur moet de tweede verstrengeling verbreken. Veel natuurkundige zijn niet gelukkig met dit idee en er worden allerlei remedies voor voorgesteld. Sean Carroll zegt in 2014 "misschien is er binnen de waarneemhorizon niets".

Nu we weten waarom de auteurs naar een alternatief voor de beschrijving van een zwart hebben gezocht is het goed te bekijken hoe ze dat hebben gedaan.

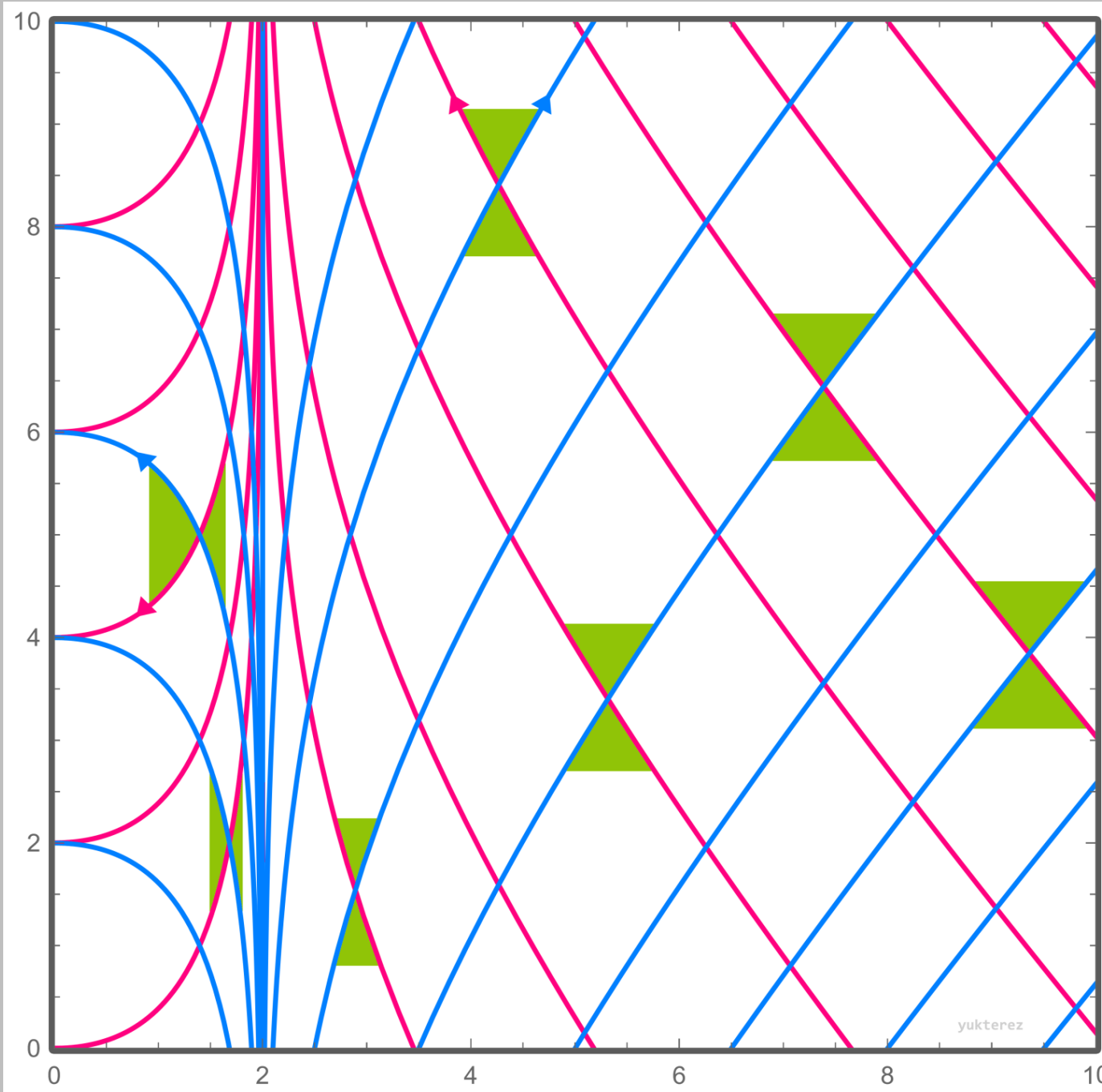
Schwarzschild coördinaten

Rood: inkomende
lichtpaden

Blauw: buiten de horizon
uitgaande lichtpaden,
binnen de horizon ook
ingaaende paden

Groen conussen begrenzen
mogelijke richtingen van
materiedeeltjes ($v < c$)

$$r_s = 2$$



Tekst bij slide

We waren gebleven bij de Schwarzschild coördinaten om de omgeving van een zwart gat te beschrijven. De wereld is verdeeld in twee delen gescheiden door een waarneemhorizon. Er is geen communicatie tussen binnen en buiten.

Buiten de horizon leven wij als verre waarnemers die oppassen niet naar het zwarte gat toe te vallen. We kunnen er wel naar toe vallen maar we kunnen er niemand in zien vallen. Wat we zien vallen beweegt steeds langzamer naarmate het dichterbij de horizon komt, we zien het er nooit overheen gaan. Binnen de horizon is er een vreemde wereld waarin niets stil kan blijven staan omdat de ruimte zelf naar binnen beweegt. Er komt niets, zelf geen licht, naar buiten. We blijven volledig onkundig van of en zo ja wat er zich binnen afspeelt.

In de beschrijving volgens de zwarte spiegel. Is die binnenwereld er niet. Maar wat is er dan wel. Omdat dit te gaan zien zullen we eerst twee andere coördinaatsystemen gaan bekijken. De Schwarzschild coördinaten zijn niet geschikt om het geheel van de ruimte te beschrijven. Er is bij de waarneemhorizon een schijnbare discontinuïteit.

Dat hangt samen met het gebruikte coördinaatsysteem. Dat systeem gebruiken Turak et al en 't Hooft dan ook niet.

Astronomen hebben best wel lang geworsteld hoe een beschrijving te geven waarbij deze scheiding tussen twee delen van de wereld verdwijnt. De eerste die met een oplossing kwam was Eddington, Maar de coördinaten die naar hem genoemd zijn de Eddington – Finkelstein coördinaten werden pas in 1958 gepubliceerd. Een paar jaar later in 1960 tot kwamen Kruskal en Szekeres met een coördinaten systeem kwamen dat nu hun naam draagt. Dat zullen we nu gaan bekijken.

The diagram illustrates the spacetime geometry of a Schwarzschild black hole. The vertical axis is labeled T (Time) and the horizontal axis is labeled X (Space). The diagram is divided into three main regions:

- Region I (Pink):** The exterior region, labeled with a pink **I**. It contains curves for constant r (e.g., $r=0, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.2, 1.4, 1.6$) and constant t (e.g., $t=0, 1, 2, \infty$). A vertical line at $X=0$ represents the event horizon.
- Region II (Blue):** The interior region, labeled with a blue **II**. It contains curves for constant r (e.g., $r=0, 0.4, 0.6, 0.8, 1$) and constant t (e.g., $t=0, 1, 2, \infty$). A vertical line at $X=0$ represents the event horizon.
- Region III (Blue):** The interior region, labeled with a blue **III**. It contains curves for constant r (e.g., $r=0, 0.4, 0.6, 0.8, 1$) and constant t (e.g., $t=0, 1, 2, \infty$). A vertical line at $X=0$ represents the event horizon.

The diagram also shows the worldlines of observers, represented by lines with arrows, and the paths of light, represented by lines with crosses. The curves are labeled with values of r and t , indicating the radial coordinate and time coordinate, respectively.

Rood buiten waarneemhorizon
 straal , blauw binnen;
 singulariteit blauwe hyperbool.
 Zwart $r = 1$ waarneemhorizon
 Lijnen van constante tijd (t)
 rechte lijnen door de
 oorsprong
 Diagonaal $t = -\infty$
 Constante afstand (r)
 hyperbool
 Lichtpaden rechte lijnen die
 onder $\pm 45^\circ$ lopen

Tekst bij slide

Kruskal en Szekeres bedachten een coördinaten systeem , die de discontinuïteit niet heeft en waarin:

1e een uitbreiding mogelijk is waarin alle mogelijke gebeurtenissen kunnen worden beschreven.

2e de lichtcones de gebruikelijke oriëntatie van $\pm 45^\circ$ hebben, alle lichtpaden zijn rechte lijnen die onder $\pm 45^\circ$ lopen,

3e lijnen van constante tijd rechte lijnen door de oorsprong zijn ,

Dat zijn Kruskal Szekeres coördinaten. De assen worden hier aangeduid met hoofdletter T en X.

Beide zijn combinaties van onze ruimte- en tijdcoördinaten.

In de eenvoudigste versie van deze coördinaten is het universum verdeeld in twee gebieden; een gebied buiten en een gebied binnen de Schwarzschild horizon. X is een ruimteachtige coördinaat en T een tijd achtige coördinaat.

Rood is de wereld waarin wij leven, buiten de waarneemhorizon. Blauw de wereld binnen erbinnen.

Tekst bij slide 1

Kruskal en Szekeres bedachten een coördinaten systeem , die de discontinuïteit niet heeft en waarin:

1e een uitbreiding mogelijk is waarin alle mogelijke gebeurtenissen kunnen worden beschreven.

2e de lichtcones de gebruikelijke oriëntatie van $\pm 45^\circ$ hebben, alle lichtpaden zijn rechte lijnen die onder $\pm 45^\circ$ lopen,

3e lijnen van constante tijd rechte lijnen door de oorsprong zijn ,

Dat zijn Kruskal Szekeres coördinaten. De assen worden hier aangeduid met hoofdletter T en X.

Beide zijn combinaties van onze ruimte- en tijdcoördinaten.

In de eenvoudigste versie van deze coördinaten is het universum verdeeld in twee gebieden; een gebied buiten en een gebied binnen de Schwarzschild horizon. X is een ruimteachtige coördinaat en T een tijd achtige coördinaat.

Rood is de wereld waarin wij leven, buiten de waarneemhorizon. Blauw de wereld binnen erbinnen. De singulariteit van het zwarte gat die we ons meestal als een punt voorstellen is hier de blauwe hyperbool.

Zwart is de Schwarzschild horizon en de lijn $t = \text{oneindig}$.

Getrokken rode en blauwe lijnen zijn lijnen van constante tijd. $t = 0$ bij de X-as en T-as en $t \pm \text{oneindig}$ bij de diagonalen

Gestippelde rode en blauwe hyperbolen lijnen van constante r .

Paden van fotonen zijn lijnen onder $\pm 45^\circ$ graden. In het rode gebied, het gebied waarin wij leven is - 45° voor naar zwart gat invallende fotonen, $+45^\circ$ voor fotonen die zich diametraal van het zwarte gat verwijderen.

Tekst bij slide 2

De singulariteit van het zwarte gat die we ons meestal als een punt voorstellen is hier de blauwe hyperbool.

Zwart is de Schwarzschild horizon en de lijn $t = \text{oneindig}$.

Getrokken rode en blauwe lijnen zijn lijnen van constante tijd. $t = 0$ bij de X-as en T-as en $t \pm \text{oneindig}$ bij de diagonalen

Gestippelde rode en blauwe hyperbolen lijnen van constante r .

Paden van fotonen zijn lijnen onder ± 45 graden. In het rode gebied, het gebied waarin wij leven is -450 voor naar zwart gat invallende fotonen, +450 voor fotonen die zich diametraal van het zwarte gat verwijderen.

In het blauwe gebied, dat is binnen de Schwarzschildstraal bewegen alle lichtstralen, zowel die onder -45 graden als die +45 graden, naar de singulariteit. Ontsnappen is ook in deze coördinaten niet mogelijk.

Ook is de baan van een object dat in het zwart gat getekend.

Kruskal-Szekeres coördinaten $T(r,t)$ en $X(r,t)$

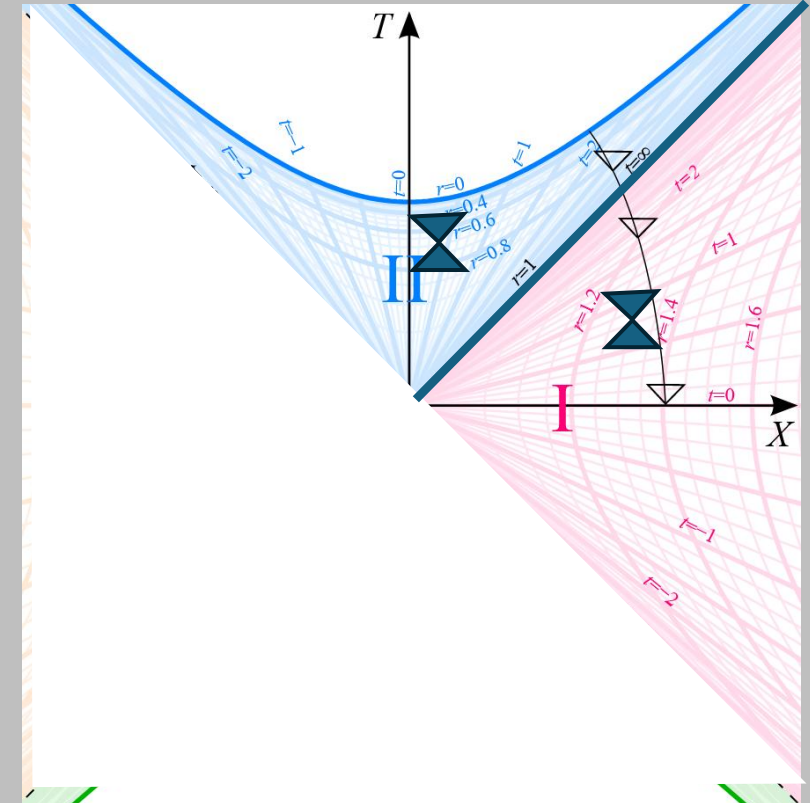
Kruskal-Szekeres coordinates on a **black hole** geometry are defined, from the **Schwarzschild coordinates** (t, r, θ, ϕ) , by replacing t and r by a new timelike coordinate T and a new spacelike coordinate X :

$$T = \left(\frac{r}{2GM} - 1 \right)^{1/2} e^{r/4GM} \sinh\left(\frac{t}{4GM} \right)$$
$$X = \left(\frac{r}{2GM} - 1 \right)^{1/2} e^{r/4GM} \cosh\left(\frac{t}{4GM} \right)$$

for the exterior region $r > 2GM$ outside the **event horizon** and:

$$T = \left(1 - \frac{r}{2GM} \right)^{1/2} e^{r/4GM} \cosh\left(\frac{t}{4GM} \right)$$
$$X = \left(1 - \frac{r}{2GM} \right)^{1/2} e^{r/4GM} \sinh\left(\frac{t}{4GM} \right)$$

for the interior region $0 < r < 2GM$. Here GM is the **gravitational constant** multiplied by the Schwarzschild mass parameter, and this article is using **units** where $c = 1$.

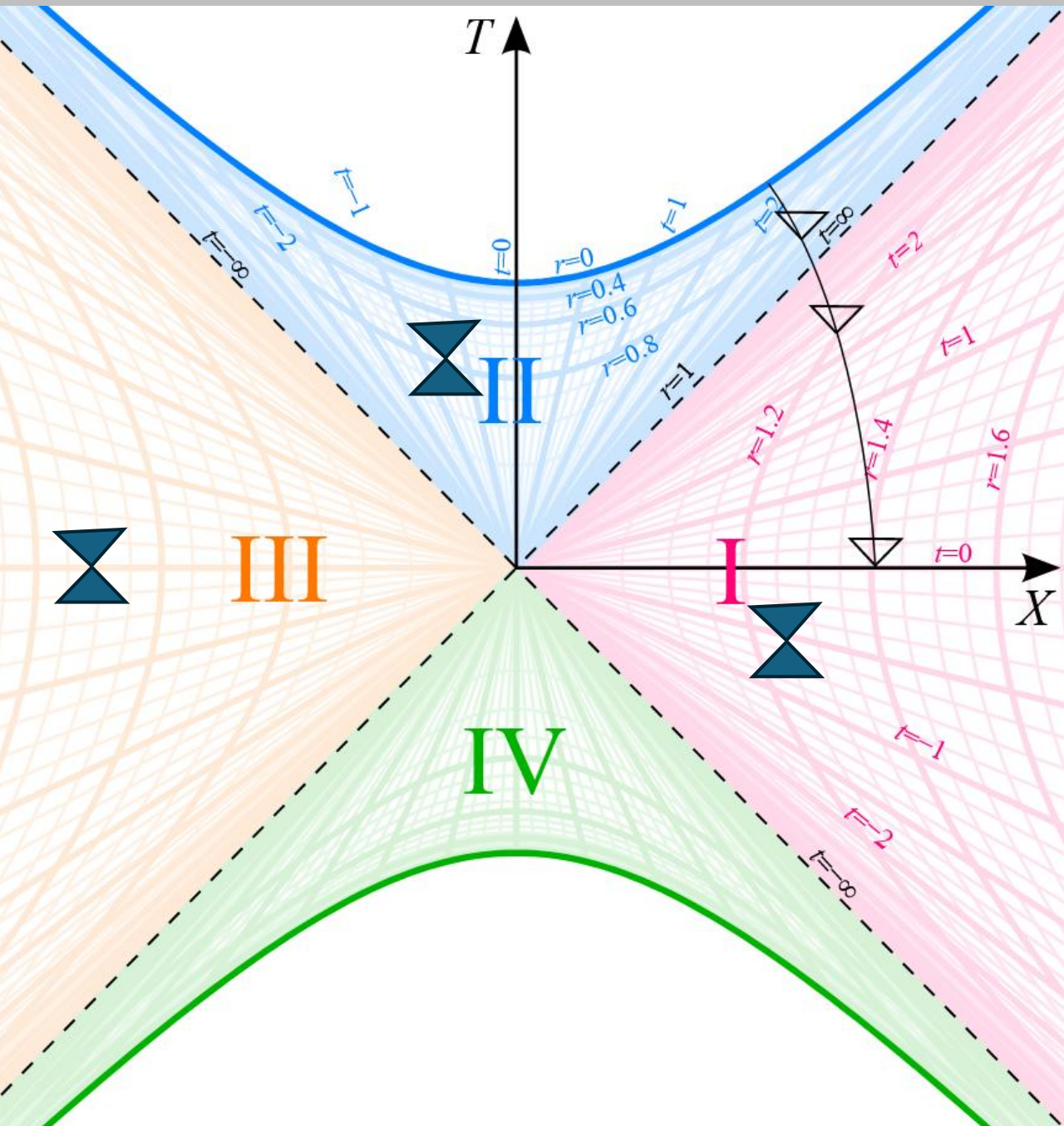


Tekst bij slide 2

T en X zijn functies de afstand en de tijd; r en t .

Voor ons verder niet nodig allen goed voor iemand die er mee wil spelen.

In het literatuuroverzicht op de laatste dia is een verwijzing naar een film van Leonard Sussman die een mooie uitleg geeft van de Kruskal Szekeres coördinaten.



Kruskal-Szekeres; Maximaal uitgebreid

- I onze wereld
- II zwartgat binnen
Schwarzschild horizon
- III parallel wereld
- IV wit gat omgeving
- blauw singulariteit zwart gat
- groen singulariteit wit gat

Tekst bij slide

Meestal wordt een uitgebreidere versie van de Kruskal Szekeres coördinaten gebruikt. Er worden twee gebieden aan toegevoegd. De gebieden I en II zijn dezelfde als voorheen.

De stippellijnen die de gebieden begrenzen zijn de event horizonnen voor $t = +$ en $-$ oneindig.

Wij leven in gebied 1, het gebied begrensd door de Schwarzschildhorizon rond een zwart gat en nu ook een antihorizon rond een wit gat. Gebied II is de omgeving van het zwarte gat, met de blauwe lijn de singulariteit bij $r = 0$. Het oranje gebied 3 is een parallel universum vergelijkbaar met gebied 1 (het onze). Gebied 3 speelt later nog een grote rol. Gebied 4 het groene gebied is de omgeving van een wit gat met de groene hyperbool de singulariteit van het witte gat.

Vanuit onze wereld, deel 1, kan er alleen maar materie verdwijnen naar 2, daaruit komt niets terug.

In gebied IV kan vanuit onze wereld niets in gaan er kan alleen iets uitkomen..

We zien weer enkele lichtkegels en ook een materieel object dat op tijdstip $t = 0$ en vanaf $r = 1.4$ maal de horizonstraal met toenemende snelheid naar het zwarte gat valt en daar in de singulariteit verdwijnt tussen (blauwe) $t = 1,5$ en $t = 2$.

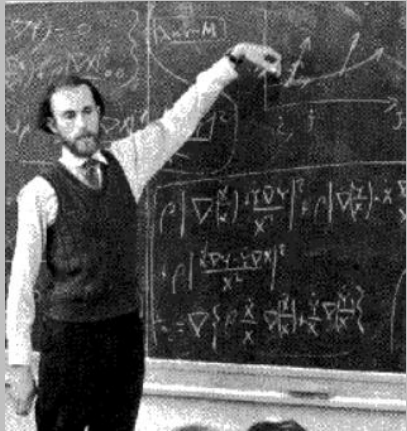
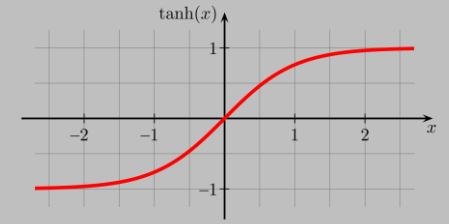
Twee opmerkingen hierbij:

Het materieel object bereikt de singulariteit in een eindige tijd. Maar ook in deze coördinaten zullen we als dat waarnemers in het rode gebied niet zien gebeuren. Het object kruist rechte lijnen die steeds verder in de toekomst liggen en komt niet verder dan de diagonaal. Hoe ons voor te stellen dat de baan toch de horizon passeert en verder loopt is mij nog niet duidelijk.

De Kruskal Szekeres coördinaten laten alleen het centrale deel van de ruimte zien in de omgeving van T en X is nul.

Voor het laatste is een oplossing bedacht die de Carter-Penrose coördinaten worden genoemd.

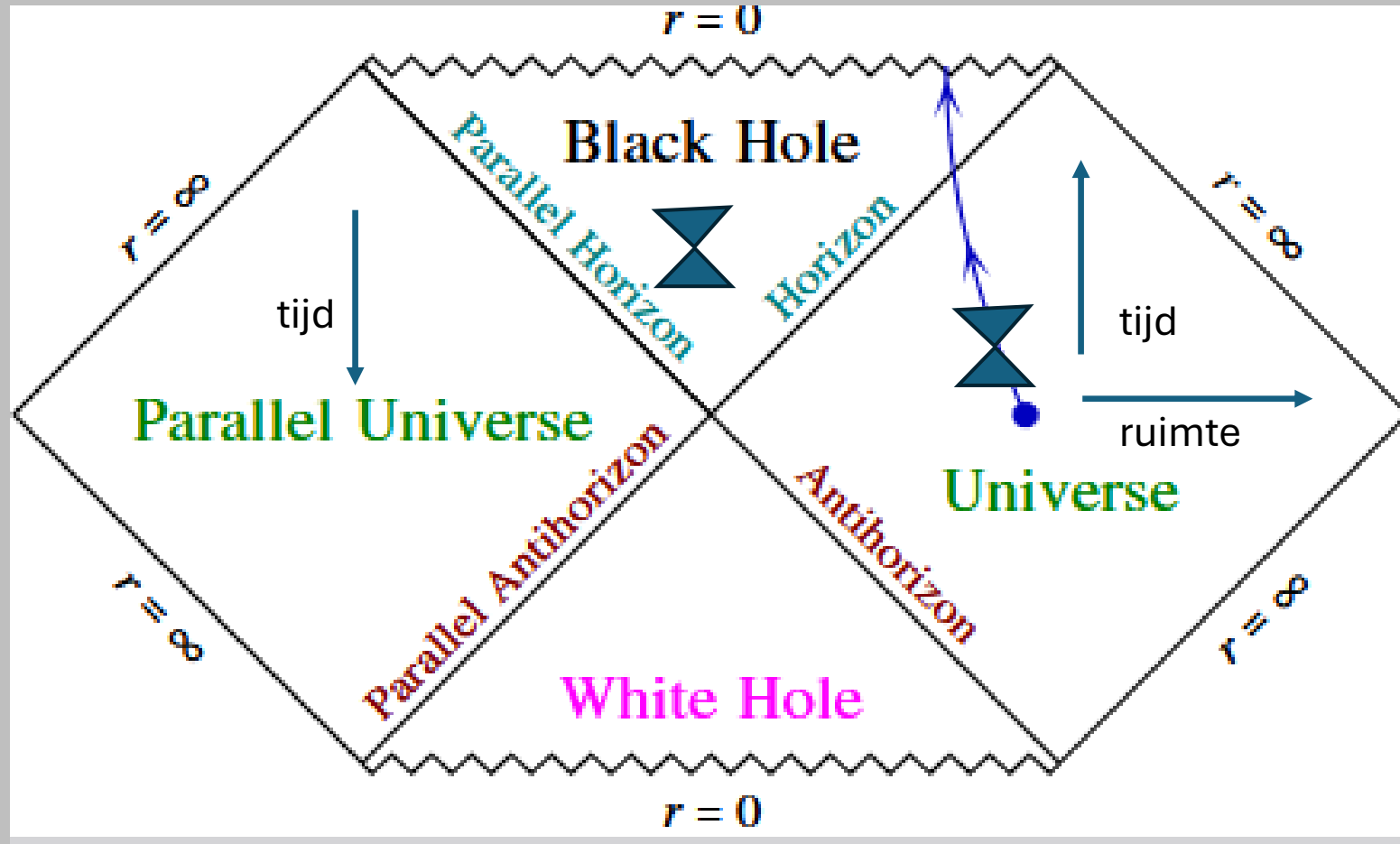
Carter Penrose coördinaten



Brandon Carter



Roger Penrose



$X' = \tanh(X)$
 $T' = \tanh(T)$
Lichtstralen
verlopen onder
hoek van $\pm 45^\circ$

Tekst bij slide

Als laatste zien we hier het Penrose-Carter coördinaten systeem. Dit is afgeleid van de Kruskal-Szekeres coördinaten.

De Carter Penrose-coördinaten worden vaak gebruikt en zijn ook gebruikt door de bedenkers van de zwarte spiegel en zien we ook terug in presentaties van Gerard 't Hooft over dit onderwerp.

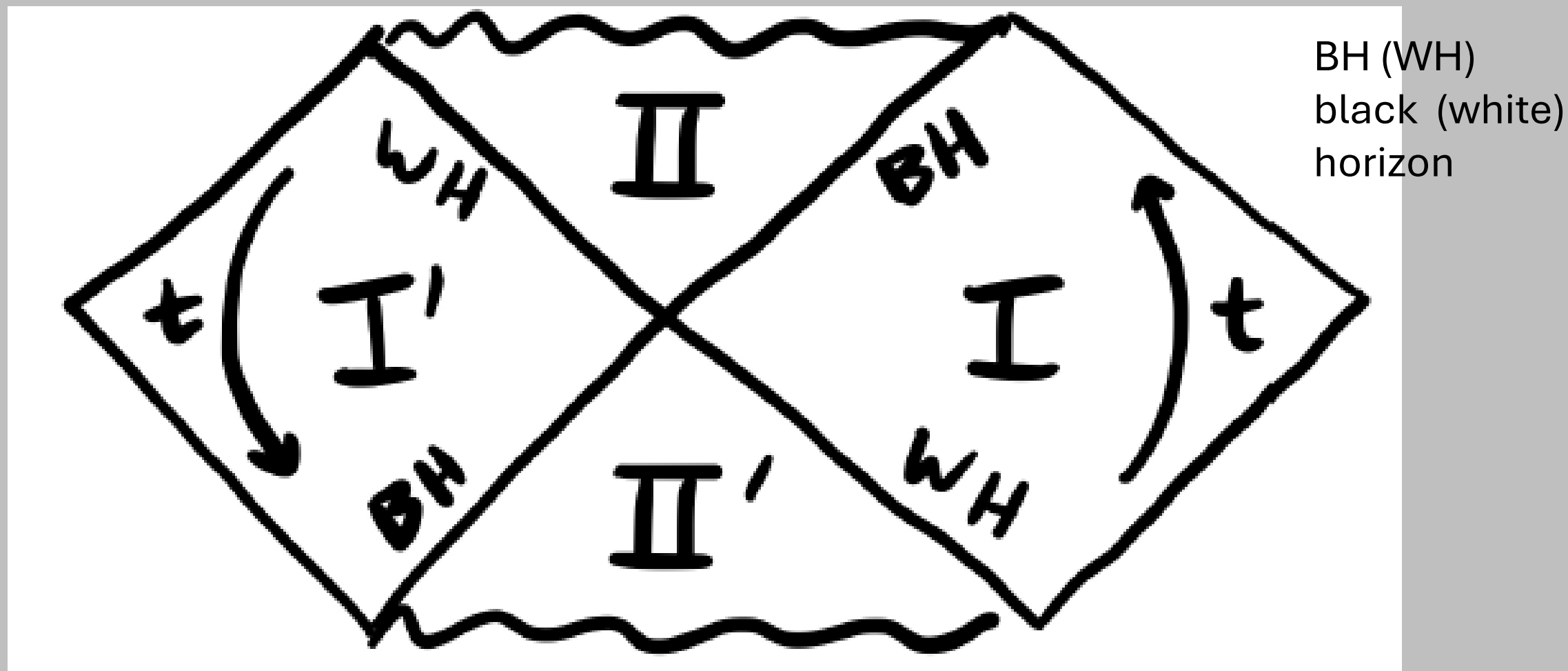
De assen van een Kruskal-Szekeres diagram worden met een transformatie $T, X \rightarrow \tanh(T, X)$ ingekrompen zodat alles in één plaatje past.

De transformatie is voor beide assen gelijk. De lichtpaden blijven onder ± 45 graden lopen. De volledige ruimte is weergegeven met X en T ofwel r en t naar oneindige. Alles wat er kan gebeuren kan in dit plaatje weergegeven worden.

We zien hier weer de vier gebieden die ook aanwezig zijn in de Kruskal Szekeres coördinaten. I is de wereld waarin we leven, II de omgeving van het zwarte gat binnen de horizon, III een parallel universum dat heel veel lijkt op dat waarin wij leven, en IV de omgeving van het witte gat. In de parallelwereld is er tijdsinversie.

De grenzen tussen de gebieden zijn de horizon en antihorizon en hun equivalenten met het parallelle universum.

Deze horizonnen liggen op $r = 2GM$, de Schwarzschildstraal. De randen van de figuur zijn bij $r =$ oneindig (de getrokken lijnen) en de singulariteiten (zigzag lijnen).



Tekst bij slide

Nog eens het Carter Penrose diagram maar nu getekend door Turok e.a.

De gebieden zijn hier anders genummerd; I en I' en II en II'. I is onze wereld I' is de spiegelwereld waarin de tijd van boven naar beneden loopt.

De witte horizon (WH) en zwarte horizon (BH) zijn aangegeven.

Wat wij zien als de omgeving van een zwart gat wordt in de spiegelwereld gezien als de omgeving van een wit gat. En omgekeerd

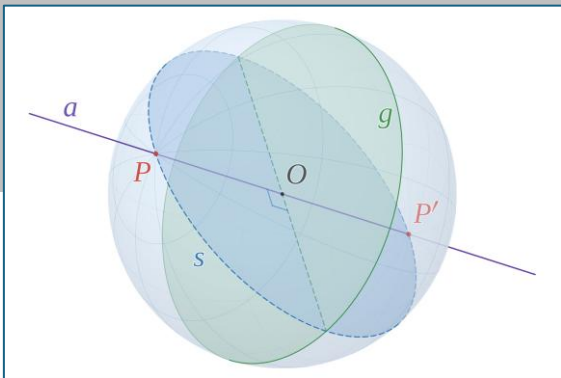
Black horizon: deeltjes kunnen er alleen door verdwijnen, White horizon: deeltjes kunnen alleen tevoorschijn komen.

De tijd loopt naar boven in I en naar beneden in I'.

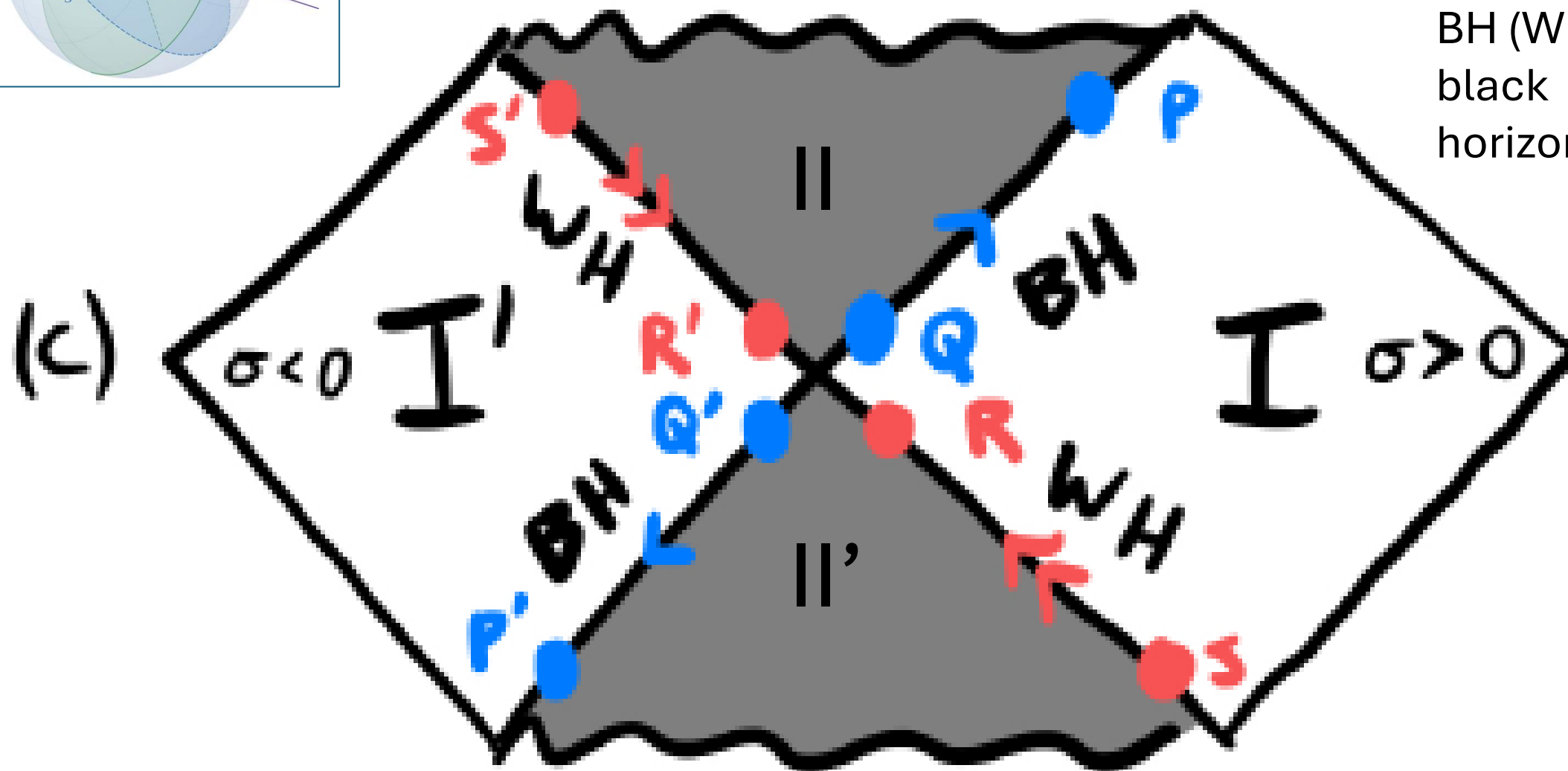
Dit is het bekende beeld dat we eerder gezien hebben.

Wat er gebeurt als we in dit schema het principe van de antipodale identificatie toepassen zien we in de volgende slide..

Ook de volgende twee figuren zijn uit de publicatie van Turok gecopiëerd



BH (WH)
black (white)
horizon



Tekst bij slide

Antipodale identificatie betekent dat twee tegenoverstaande punten één punt zijn. Hoe dat uitwerkt zien we hier.

Punten P en Q liggen op de horizon tussen I en II; P' en Q' en op de horizon tussen de spiegelwereld, gebied I' en II'. Antipodale identificatie betekent: $P = P'$ en $Q = Q'$; ze zijn één punt.

Dat geldt ook voor de punten $R = R'$ en $S = S'$

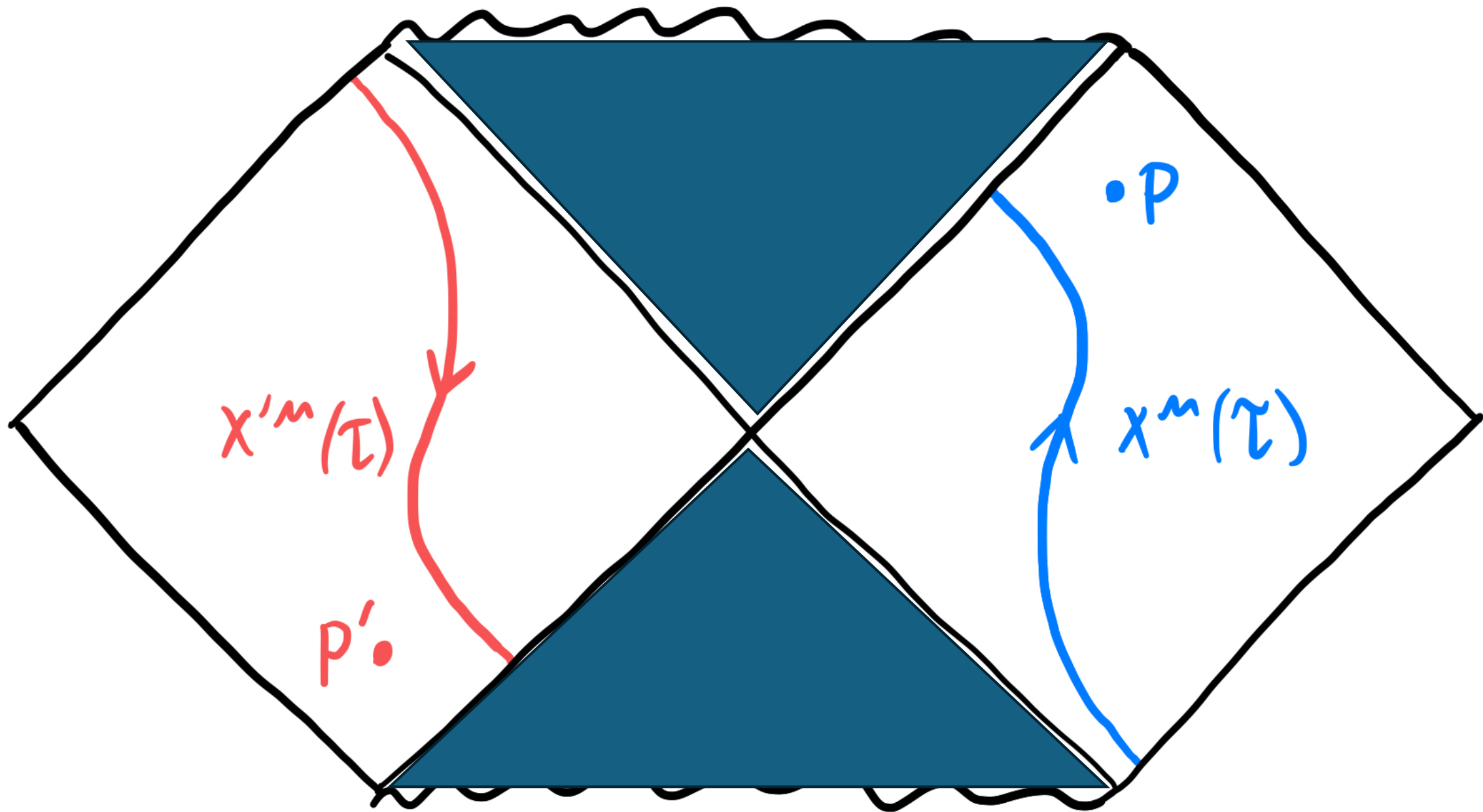
De hele segmenten worden op elkaar geplakt: rood op rood en blauw op blauw.

Turok: “So on the “other side” of the BH horizon from exterior I is exterior I' (rather than interior II); and similarly, for the WH horizon.”

De gebieden II en II' zijn grijs gemaakt. Door de antipodale identificatie verdwijnen de gebieden II en II'. Ze bestaan niet meer. Er is helemaal niets, ook geen ruimte en geen tijd.. Alleen de gebieden I en I' blijven over.

Er blijven twee gelijkwaardige werelden over; Gebied I en I'.

Als één van de gebieden 180° geroteerd wordt zijn ze congruent en kunnen ze elkaar bedekken. we in de volgende slide..



Tekst bij slide

Dat zien we hier nog eens. We zien hier wat dit betekent als er een gebeurtenis plaats vindt. In onze wereld beweegt iets van lang geleden richting de horizon: de blauwe lijn eindigt op de horizon.

In de spiegelwereld beweegt ook iets het volgt de rode lijn. Deze eindigt ook weer op een horizon. De tijd loopt hier naar beneden.

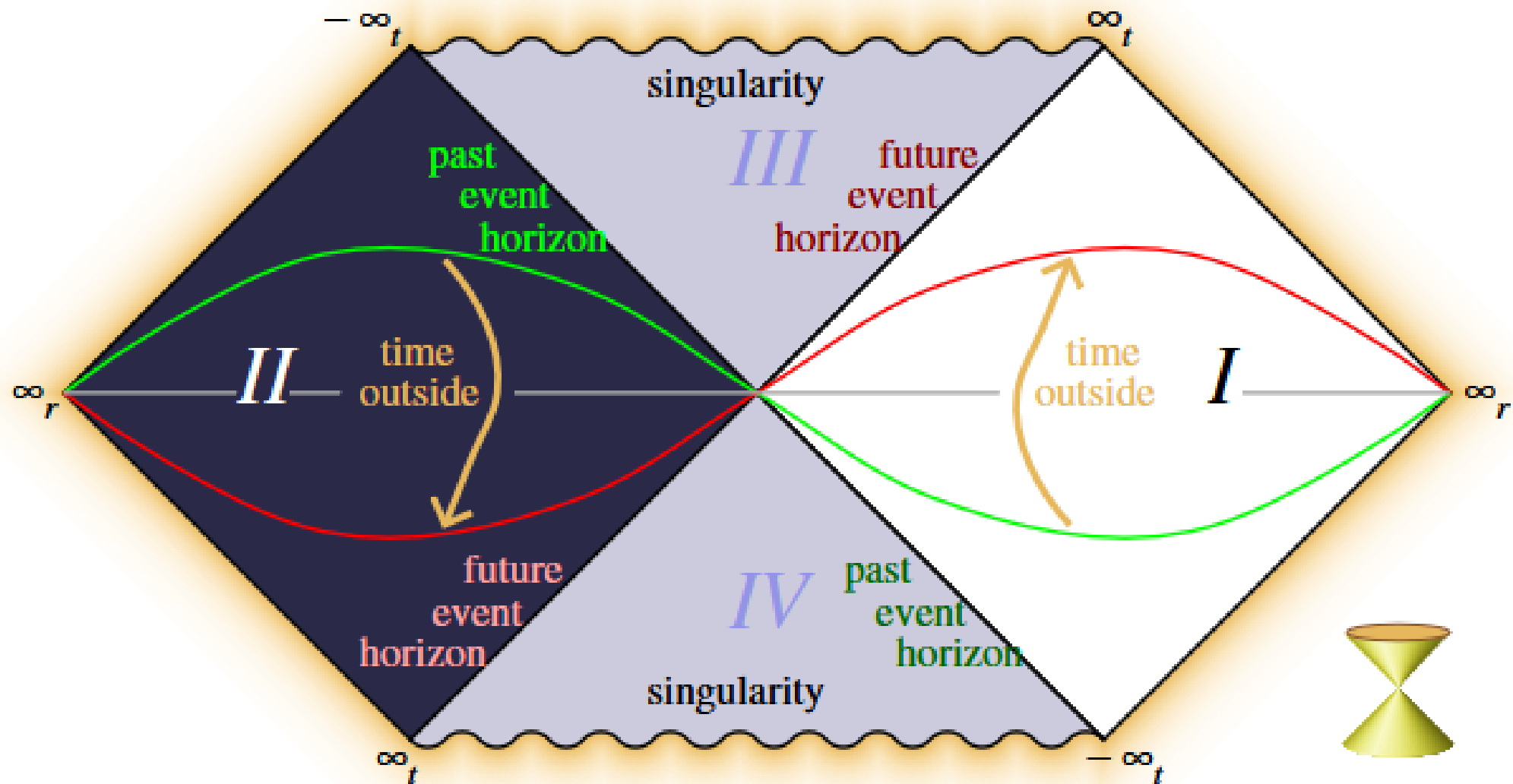
Omdat de horizonnen met elkaar geïdentificeerd worden komen de rode en blauwe lijnen samen in hetzelfde punt. Ze ontmoeten elkaar in de spiegel.

Hierbij te bedenken: Het spiegelbeeld van het deeltje is het antideeltje ervan, Als het deeltje een positieve lading in onze wereld zou hebben dan heeft een negatieve lading in de spiegelwereld. Op de horizon zullen ze elkaar annihilieren.

Ook een eventuele draairichting is andersom. De tijd loopt ook andersom. Dit heet een CPT spiegeling. CPT staat voor lading, pariteit en tijd. De gebieden I en I' zijn elkaars CPT geconjugeerde. dat door Turok en zijn medeauteurs beschreven is..

Dit is het concept van de zwarte spiegel, zoals beschreven door Turok en zijn medeauteurs.

Bestaan de witte gebieden nog allebei of is het er toch maar één? Gerard 't Hooft meent van niet: er is maar één wereld waarin zowel de gebeurtenissen als hun CPT geconjugeerden plaats vinden.



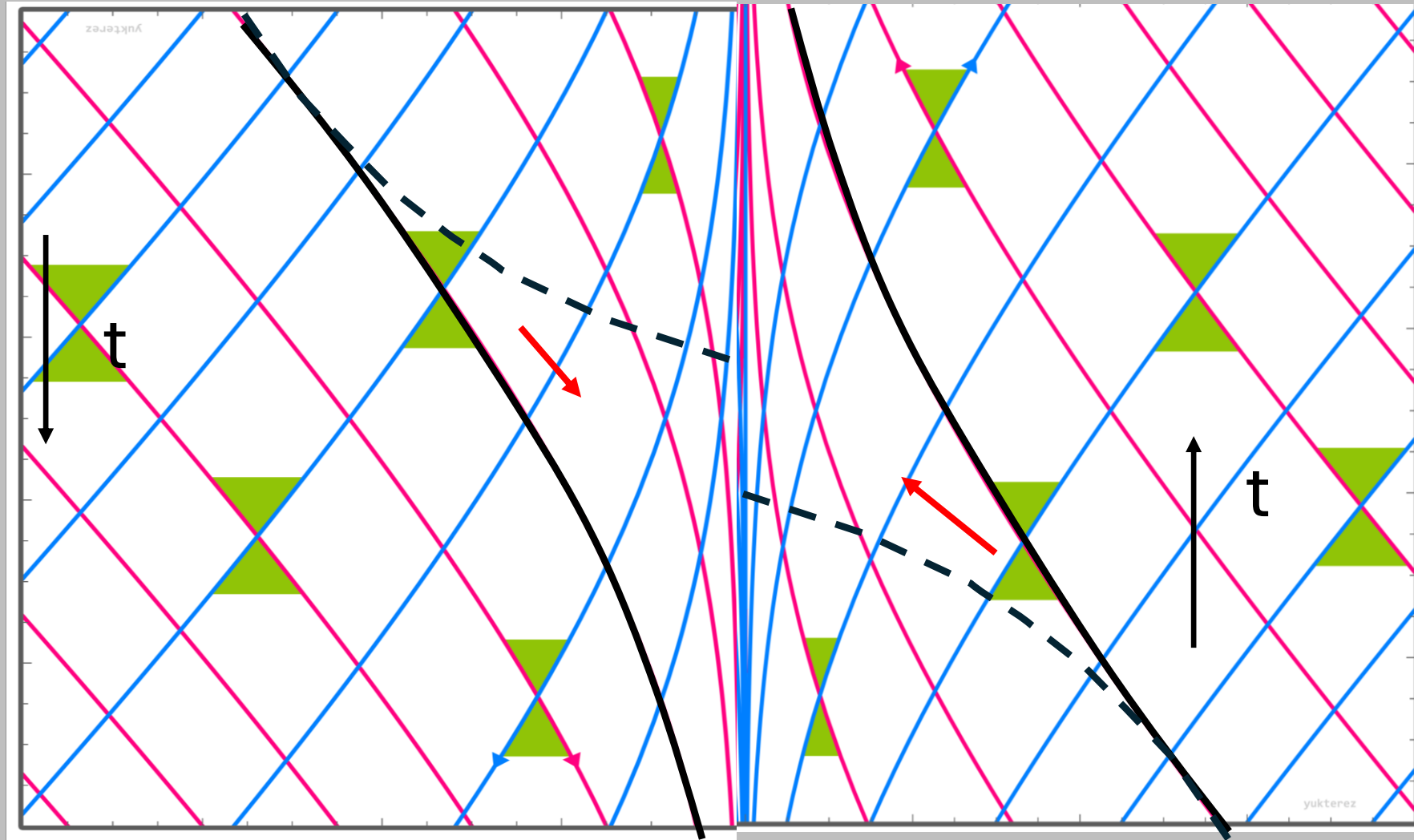
Tekst bij slide

We zien we het plaatje met de vier gebieden die we herkennen. t Hooft nummert de overgebleven gebieden weer anders. als I en II.

De gebieden I en II zijn elkaar kopieën. Voor elk deeltje in gebied I is er een overeenkomstig deeltje in gebied II. Ook de waarnemer in I heeft een schaduw kopie in II.

Schwarzschild coördinaten met spiegelruimte

r ←



→ r

Tekst bij slide

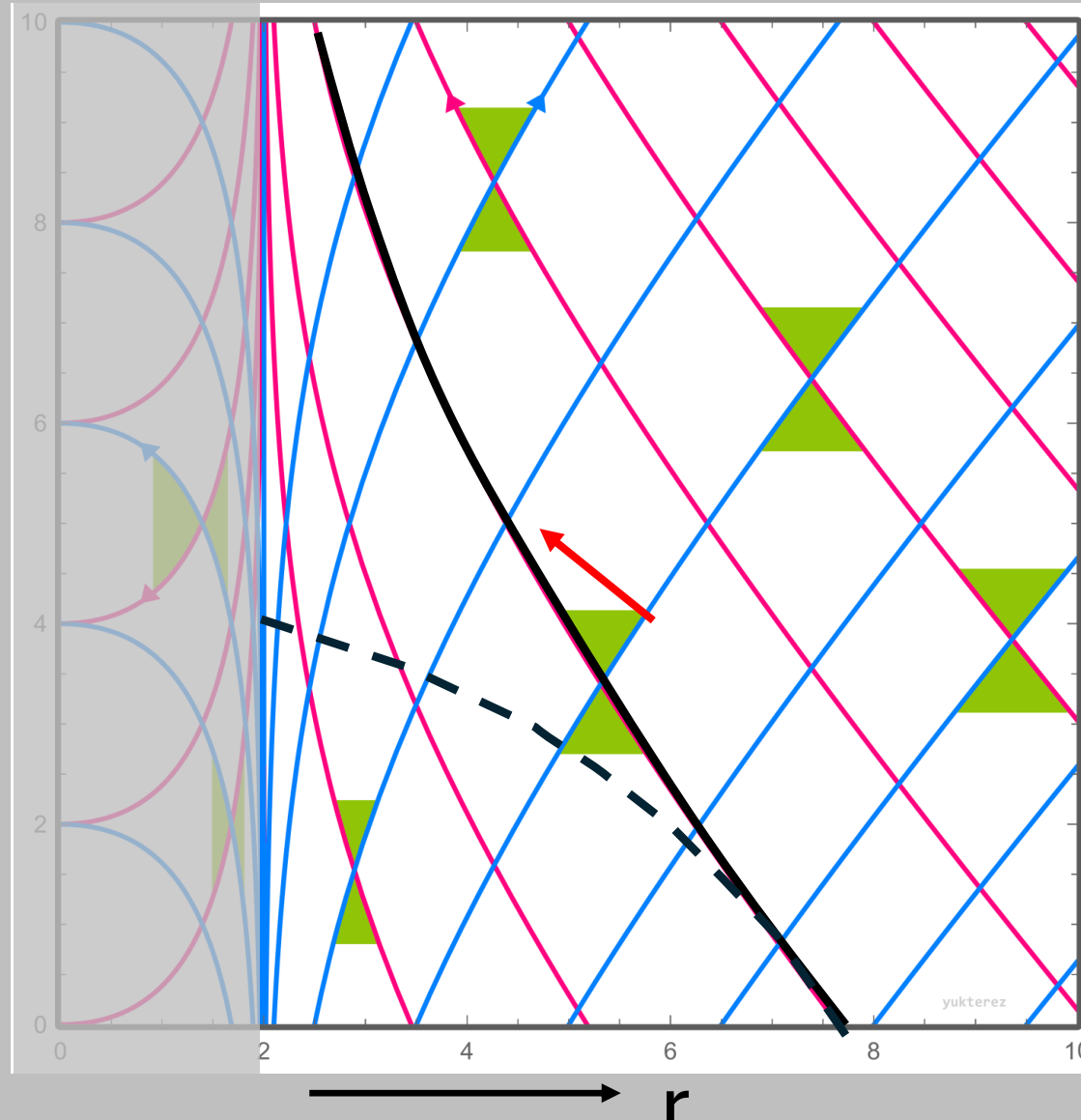
We komen nog eens terug op de tocht van ons ruimteschip in Schwarzschild coördinaten

Het is verleidelijk de twee gebieden van de voorgaande plaatjes op deze manier te laten zien.

Met de baan van het ruimteschip in zwart en gestippeld lijn. rechts staat onze ruimte, links de geconjugeerde ruimte .

Maar hier staat horizontaal een afstandscoördinaat en een afstand kan alleen maar positief zijn.
Dat kan helemaal niet.

Schwarzschild coördinaten kennen geen spiegelruimte:
de twee gebieden overlappen elkaar



Tekst bij slide

Hier vallen onze wereld en de spiegelwereld samen. Het stuk binnen de Schwarzschild straal , wat hier grijs gemaakt is, bestaat niet. De reis eindigt op de waarneemhorizon.

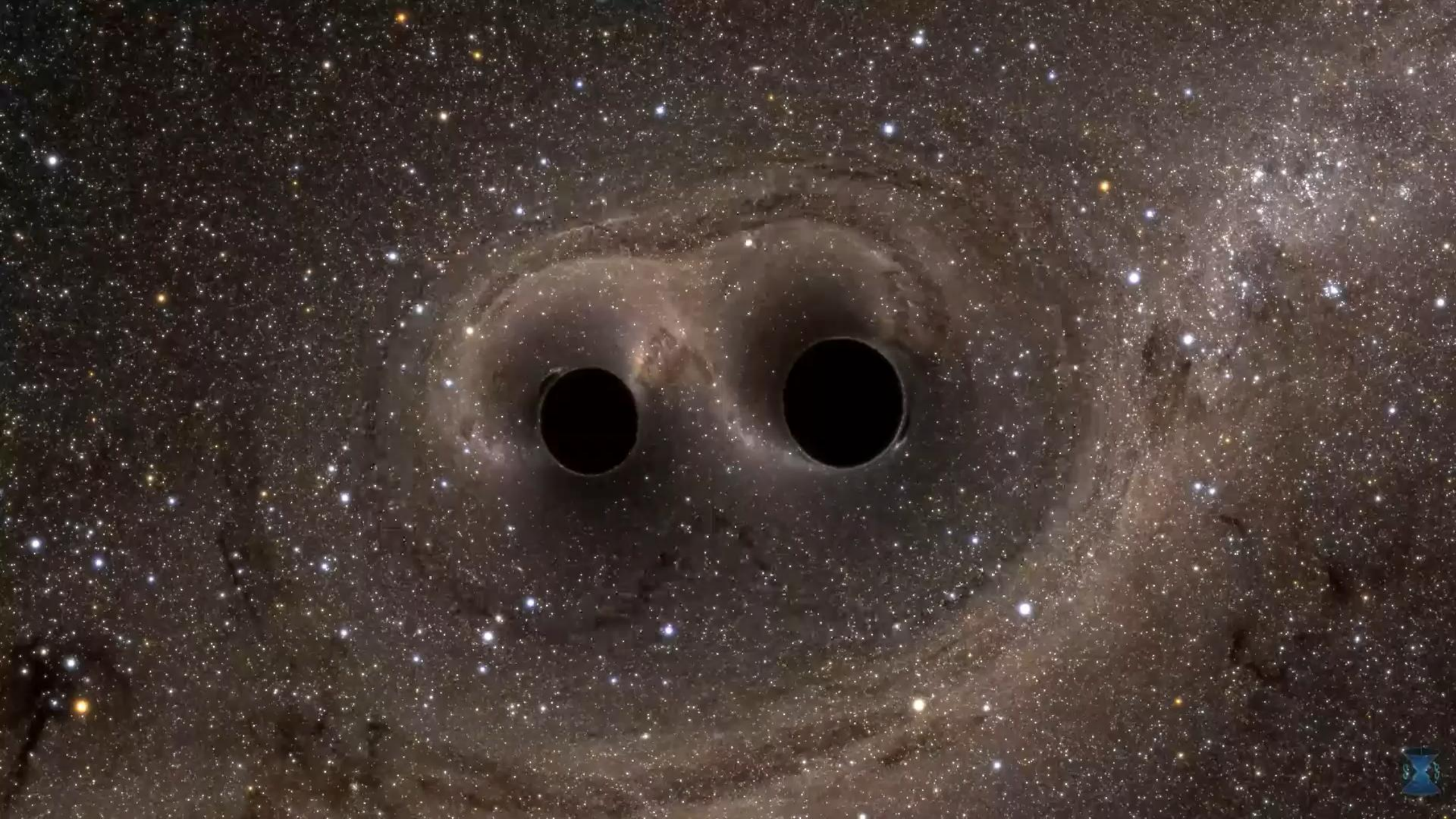
De gebeurtenissen die in I en II gebeuren vinden allemaal plaats in het witte gebied, zowel alle deeltjes en hun antideeltjes. Ook de naar de horizon toevallende waarnemer en zijn schaduw spiegelbeeld.

Het invallende ruimtevaartuig ontmoet zijn complex geconjugeerde op de horizon en annihileert daarmee. Het zal worden omgezet in straling en elementaire deeltjes.

Zien we daar nog iets van? Ja ooit, merendeel in de verre toekomst, zal de toegevoegde en uitgestraald massa kunnen worden wargenomen als warmtestraling.

It is a signal that something unexpected is happening. Indeed, the black hole horizon is a **mirror!** it gives you a **mirror** image of a universe. You will even see yourself as an observer of that universe. Except, no, you won't see yourself because signals do not go faster than light...

and moreover, you would see your  mirror image move backwards in time!



Tekst bij slide

De hypothese van de Zwarte Spiegel zegt dus dat er binnen de waarneemhorizon rond een zwart gat niets is, geen ruimte en geen tijd.

In het voorbeeld dat we gezien hebben ging het om een eenvoudig stationair zwart gat waar iets in valt. De redenering werkt ook voor meer realistische zwartgaten, zoals zwarte gaten met rotatie. Zwaartekrachtsgolven laten zien dat er heel vaak twee zwarte gaten elkaar opslokken. Hoe rijmt dit met het verhaal van de Zwarte Spiegel

Deze simulatie laat zien dat zwarte gaten fuseren zodra de horizonnen elkaar raken.

Zwarte Spiegel , literatuur

- Kostas Tzanavaris e.a. Black Mirrors: CPT-Symmetric Alternatives to Black Holes
- Gerard 't Hooft Alternative theory for the quantum black hole and the temperature of its quantum radiationa
- Gerard 't Hooft <https://www.youtube.com/watch?v=eSpFz2ZXHGM>
- Gerard 't Hooft What happens in a black hole when a particle meets its antipode
- Gerard 't Hooft Higgs Lecture 2025 : <https://www.youtube.com/watch?v=fK6YMLrhvpw>
- Leonard Susskind <https://theoreticalminimum.com/courses/general-relativity/2012/fall/lecture-8>

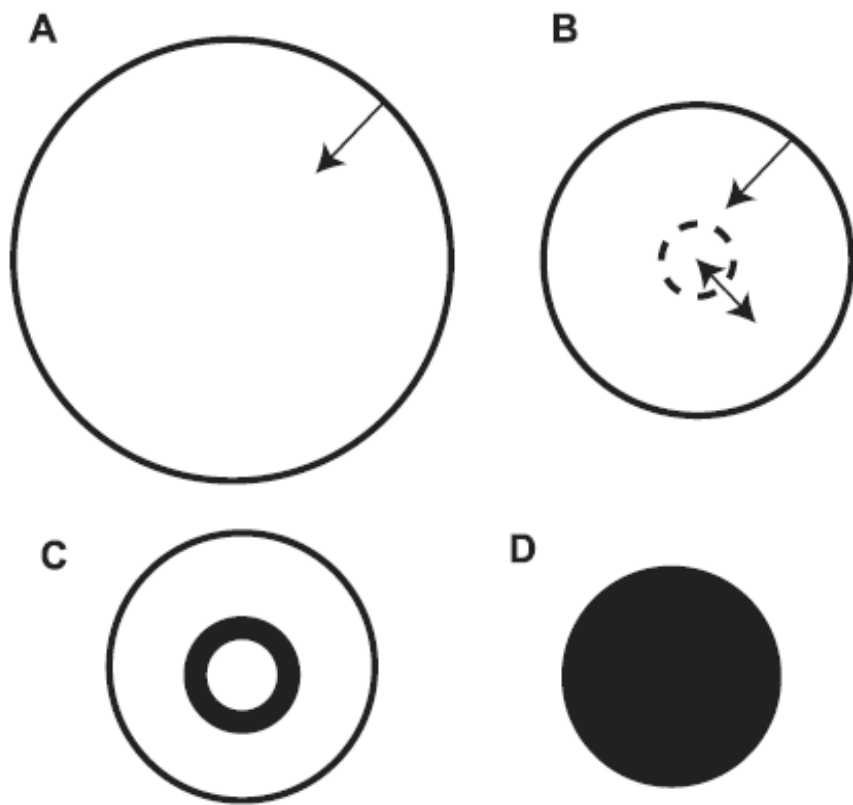


FIGURE 1 | (A). The schematic representation of a collapsing spherical shell. The metric is Schwarzschild outside, and Minkowski inside. **(B).** The shell/anti-shell pair is created with the radius $R = \frac{\mu^2}{2M}$. The positive energy shell falls to $r = 0$, while the negative energy one propagates outward to the incipient horizon. **(C).** The region between the created shells (black ring) is growing, and it is not a flat space anymore. Its time coordinate is re-synchronized into the Schwarzschild time. **(D).** Eventually, the negative energy shell cancels out the original collapsing shell. A black hole is formed and the whole spacetime becomes Schwarzschild.

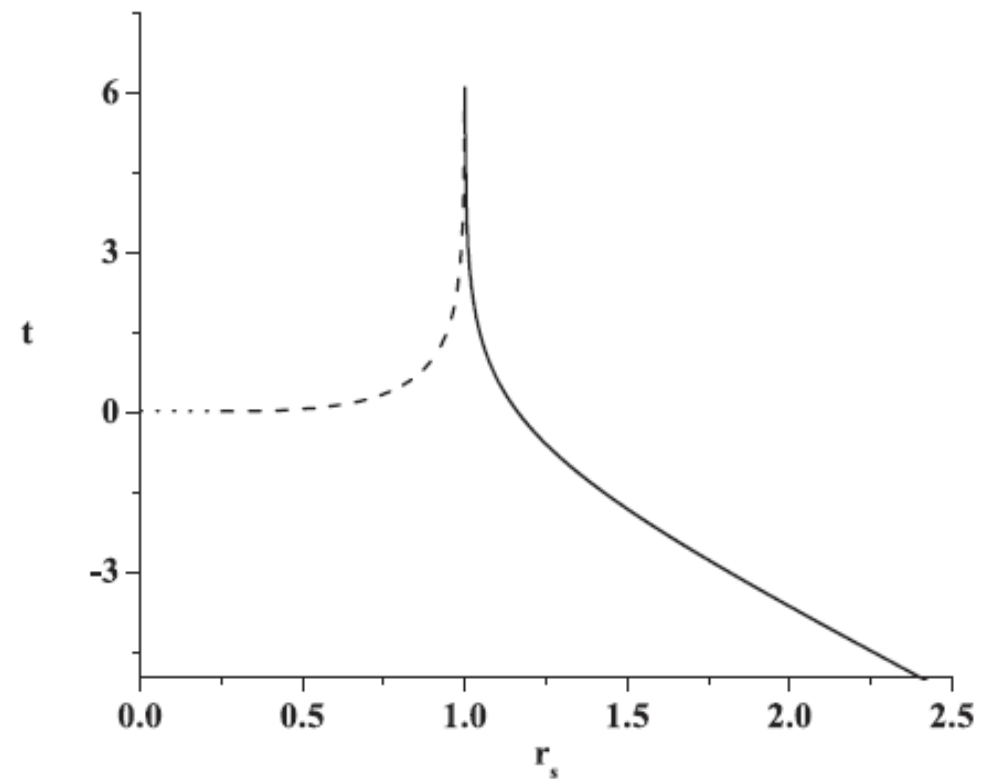


FIGURE 2 | The trajectory of a collapsing shell in the Schwarzschild coordinates (t, r) . We set the rest mass of the shell, μ , and its total energy, M , to be equal to 1/2. The incipient black hole horizon is at $r = 1$. The collapsing shell takes infinite time to arrive to the horizon (solid line). However, a shell/anti-shell pair is created with the radius $R = 0.25$. The positive energy shell shrinks to $R = 0$ (dotted line), while the negative energy one propagates outward (the dashed line), where finally it cancels the original collapsing shell at the horizon at $t \rightarrow \infty$.

Tekst bij slide

Delio's Vraag was : Als een gaswolk ineens stort waar vormt zich het zwarte gat het eerst; in het centrum of aan de buitenkant?

Dat is uitgezocht voor een schil die concentrisch ineens stort.

Er ontstaat bij $r = 0,25$ dubbellaag waarvan de ene laag naar buiten loopt en annihileert met de tegemoet komende en de andere instort naar $r = 0$, De met zwart aangegeven ruimte tussen de lagen wordt groter en vormt het zwarte gat. Het begint dus halverwege.

Hoe dit precies werkt en hoe dit zit voor de ineensstorting van een gaswolk ben ik nog van plan uit te zoeken.